This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

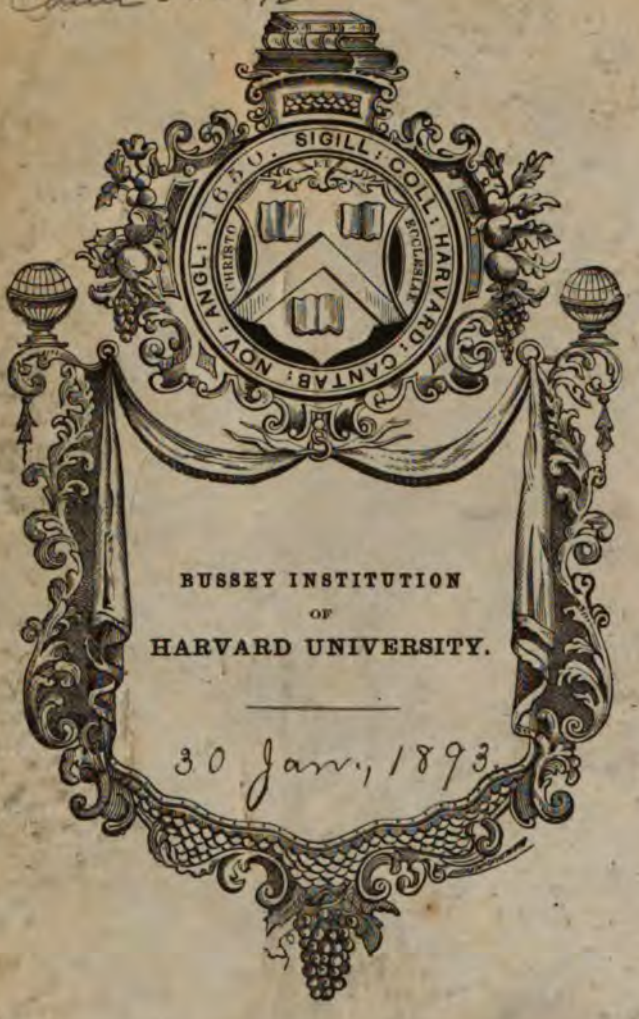
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Chem 558.92

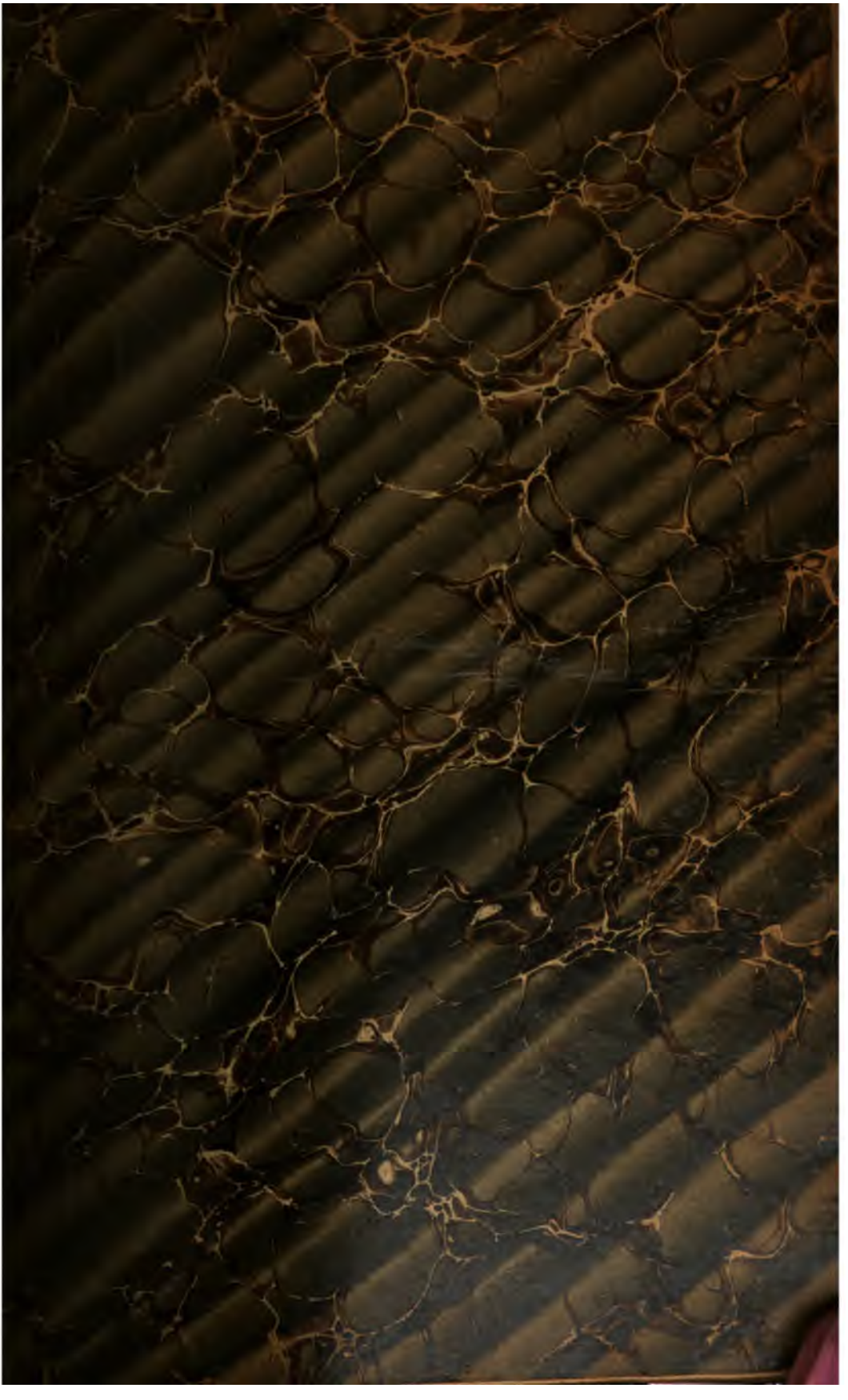


BUSSEY INSTITUTION
OF
HARVARD UNIVERSITY.

30 Jan., 1893.

SCIENCE CENTER LIBRARY

HARVARD COLLEGE
LIBR



TRAITÉ

DE

CHIMIE AGRICOLE

8357-01. — CORBEIL. IMPRIMERIE ED. CRÉTÉ

TRAITÉ

DE

CHIMIE AGRICOLE

PAR

Pierre Paul
P.-P. DEHÉRAIN

MEMBRE DE L'INSTITUT
ET DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'AGRICULTURE,
PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
ET DE CHIMIE AGRICOLE A L'ÉCOLE D'AGRICULTURE DE GRIGNON

DÉVELOPPEMENT DES VÉGÉTAUX
TERRE ARABLE
AMENDEMENTS ET ENGRAIS

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1892

Chem 558.92

Bussey Institution.

HARVARD COLLEGE LIBRARY
TRANSFERRED FROM
BUSSEY INSTITUTION
1936

Droits de traduction et de reproduction réservés.

AVERTISSEMENT

L'agriculture transforme, à l'aide des végétaux, les matières minérales en matières organiques, alimentaires ou industrielles.

La chimie agricole étudie cette transformation.

Elle sait que la plante s'alimente : dans l'air d'acide carbonique, dans le sol de nitrates et de matières minérales, et qu'avec ces substances les cellules végétales élaborent les sucres des betteraves ou des raisins, la fécule des pommes de terre, l'huile du colza ou des olives, l'amidon et le gluten du grain de blé, et comparant ces matières complexes aux aliments dont elles dérivent, elle définit la plante : un appareil de réduction, un appareil de synthèse.

De réduction : nous savons, en effet, depuis la fin du siècle dernier, que les feuilles vertes frappées par les radiations solaires dégagent l'oxygène de l'acide carbonique et de l'eau et transforment ainsi deux substances saturées d'oxygène en matières combustibles : phénomène grandiose, car, en brûlant de nouveau, ces matières combustibles engendrent la chaleur qui anime tous les êtres vivants et toutes les machines.

De synthèse, car les résidus de la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau, parfois de l'acide azotique s'unissent, puis s'engageant dans une série de combinaisons successives s'écartent davantage à chaque étape des formes simples de la matière minérale. Les quatre éléments constitutifs des prin-

cipes immédiats : carbone, hydrogène, oxygène et azote forment ainsi dans la plante des matières innombrables dont quelques-unes particulièrement précieuses servent d'aliments aux animaux.

Nous cherchons dans ce volume non seulement comment s'accomplit cette double fonction de réduction et de synthèse, mais en outre, comment à l'aide d'espèces végétales appropriées au climat, au sol travaillé et enrichi, nous pourrons obtenir une quantité de matière organique telle, que sa vente couvrira nos dépenses et nous laissera un bénéfice.

La chimie agricole, en effet, n'est pas une science désintéressée, elle s'applique à rendre la culture rémunératrice.

Pour qu'elle le soit, il faut assurer aux plantes qui couvrent les surfaces cultivées des conditions tellement favorables qu'elles élaborent le maximum de matières organiques : amidon, sucre, huile, cellulose, albumine. Élever les rendements est la mission de la science agricole, mission digne des plus grands efforts, puisque son succès diminue le nombre des créatures humaines qui souffrent de la faim ou pâtissent par manque d'une nourriture suffisante.

S'il réussit à augmenter la masse de matières alimentaires que produit son domaine, le cultivateur sert à la fois l'intérêt général et sa propre fortune, car la prospérité agricole est bien mieux assurée par l'accroissement des rendements que par l'élévation des prix.

Pour assurer à la plante les conditions d'existence les plus favorables, il faut connaître ces conditions : c'est à leur étude qu'est consacrée la première partie de cet ouvrage.

Dans le premier chapitre : *Germination*, nous insistons sur l'importance que présente le choix judicieux de la graine à semer, les préparations qui la mettent partiellement à l'abri des ravages des parasites ; nous déterminons les conditions nécessaires au réveil de la vie qui sommeille dans la graine

vivante, nous suivons son évolution, nous voyons apparaître les organes souterrains, plus tard les tigelles qui, frappées par les radiations lumineuses, se chargent de chlorophylle.

Nous abordons ensuite dans les chapitres : *Assimilation du carbone, de l'azote, des matières minérales*, la partie de la physiologie végétale qui touche de plus près à l'agronomie, puisque la connaissance de la nutrition des plantes de grande culture sert de base à l'emploi des engrais.

Les découvertes de MM. Berthelot, Hellriegel et Wilfarth, Schlœsing fils et Laurent, sur l'intervention des microorganismes ou des végétaux inférieurs dans la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses ou par le sol, précisant les observations déjà anciennes de M. Georges Ville, nous ont appris que l'élément le plus coûteux des engrais : l'azote, pouvait être emprunté à l'atmosphère par des cultures appropriées, et la pratique agricole n'a pas tardé à mettre à profit ces brillantes recherches.

Les matières assimilées par les végétaux subissent dans les cellules des transformations nombreuses, elles sont exposées dans les chapitres : *Respiration* et *Formation des principes immédiats*. Les travaux récents de MM. Lœw, Fischer et Maquenne montrent, une fois de plus, combien a été féconde la voie ouverte il y a trente ans par M. Berthelot, quand il a écrit son grand ouvrage, la *Chimie organique fondée sur la synthèse*. La reproduction dans le laboratoire d'un grand nombre d'hydrates de carbone réalisée aujourd'hui, l'étude attentive de quelques-unes des matières sucrées montrant leurs relations avec les matières résineuses, nous donnent une première idée du mode de formation des nombreux principes immédiats que produisent les cellules végétales.

Ces principes immédiats, formés dans les feuilles, n'y séjournent que momentanément; si les feuilles sont à la fois des usines dans lesquelles s'élaborent les matières organiques et des magasins, ces magasins se vident au profit des organes

en voie d'accroissement : au profit des graines qui servent à perpétuer l'espèce dans les plantes herbacées, au profit du bois dans les plantes vivaces; ces principes y forment des réserves utilisées à la production des organes nouveaux, au commencement de la bonne saison. Ces migrations sont décrites dans les chapitres : *Mouvement de l'eau dans la plante, accroissement et maturation.* Ces chapitres terminent la première partie.

L'ensemble des faits qui y sont exposés nous permet d'aborder utilement l'étude de la *terre arable* qui forme la seconde partie : pour comprendre, en effet, que le sol doit être un réservoir d'humidité, il faut savoir quelles énormes quantités d'eau dépensent les plantes herbacées par leur transpiration ; quand on a constaté que l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche correspond à une évaporation par les feuilles de 250 à 300 litres d'eau, on comprend pourquoi le cultivateur ouvre sa terre en automne pour que l'eau y pénètre, comment il la roule au printemps pour y mettre en jeu la capillarité, comment au contraire il la bine en été pour rompre cette capillarité et empêcher la déperdition de l'eau emmagasinée pendant l'hiver.

Si nous n'avions appris au chapitre : *Assimilation de l'azote*, que les nitrates sont l'aliment azoté le plus efficace d'un grand nombre de plantes de grande culture, nous ne sentirions pas l'importance de la découverte de MM. Schlœsing et Muntz qui, éclairés par l'œuvre admirable de M. Pasteur, ont montré que la formation des nitrates dans le sol est due à l'activité d'un ferment aérobie.

Cette découverte précise les notions assez confuses que nous possédions naguère sur la fertilité; nous concevons maintenant qu'une terre fertile est un véritable milieu de culture du ferment nitrique, qu'elle doit être aérée, humide, pourvue de matières nitrifiables, de bases, nécessaires à la saturation de l'acide azotique au moment même de sa formation.

Après avoir étudié les *propriétés physiques*, la *constitution chimique des terres arables*, nous arrivons au chapitre *Propriétés absorbantes des terres arables;* nous y avons donné un grand développement à l'étude des eaux de drainage; elles entraînent d'énormes quantités d'azote combiné. Les nitrates sont solubles, ils ne sont pas retenus par le sol, et la nitrification, cause de prospérité quand elle se produit en temps opportun, devient ruineuse quand elle se continue sur une terre dépouillée de ses récoltes : pendant une arrière-saison humide, une terre fertile perd par entraînement dans les eaux souterraines autant d'azote qu'il en existe dans 200 ou 300 kilos de nitrate de soude.

La troisième et dernière partie du *Traité de chimie agricole* est consacrée aux amendements et aux engrais. L'emploi de plus en plus fréquent des engrais commerciaux a largement contribué aux progrès agricoles constatés pendant ces dernières années.

Judicieusement employés, ces engrais engendrent la prospérité; répandus à profusion, à contre-temps, ils causent des pertes sensibles; nous avons cherché dans les chapitres : *Phosphates*, *Engrais de potasse*, *Engrais chimiques*, *Prix et valeur des engrais*, à indiquer sur quels sols, sur quelles plantes ces engrais doivent être employés, nous avons en outre exposé des méthodes simples qui permettent de calculer quelles doses il convient de répandre pour assurer l'alimentation des récoltes, et comment, de l'efficacité que montrent les engrais dans telles ou telles circonstances, on peut déduire leur *valeur*.

L'acquisition des engrais azotés est nécessaire pour compenser les pertes qu'occasionne la nitrification se continuant sur des terres dépouillées de leurs récoltes; diminuer ou même supprimer ces pertes présente donc le plus haut intérêt; j'ai indiqué au chapitre *Engrais végétaux* comment on peut y réussir aisément par la pratique des cultures dérobées

d'automne fournissant des plantes destinées à être enfouies par les labours.

Le chapitre consacré au *fumier de ferme* est très étendu : j'ai exposé plus complètement qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent, la série de fermentations et de réactions qui amènent les pailles à l'état de matières ulmiques.

J'ai cherché, dans cet ouvrage, non seulement à exposer l'état actuel de la chimie agricole, mais à favoriser les recherches des chimistes des stations agronomiques et des laboratoires agricoles en décrivant les méthodes d'analyse; en outre, j'ai inséré à la fin du volume les instructions émanées de la commission des stations agronomiques, qui a fixé les procédés de dosage à employer dans les analyses d'engrais; toutes ces notions techniques sont imprimées en petit texte.

J'ai déjà essayé, il y a vingt ans, en publiant le *Cours de chimie agricole professé à l'École d'agriculture de Grignon*, de présenter sous une forme accessible aux cultivateurs l'ensemble des connaissances chimiques qu'ils doivent posséder pour exploiter avantageusement leur domaine.

Quand cet ouvrage fut épuisé, je me trouvais engagé dans des recherches de laboratoire et de culture trop nombreuses pour pouvoir préparer une seconde édition; des années se sont écoulées, et c'est seulement à la fin de 1889 que j'ai pu entreprendre la rédaction du *Traité de Chimie agricole* que je termine aujourd'hui.

Il rencontrera des conditions bien plus favorables que son devancier.

L'enseignement agricole progresse chaque jour : il prépare à notre pays une génération de cultivateurs aussi obstinés au travail que leurs devanciers, mais d'esprit plus ouvert. L'armée agricole reçoit aujourd'hui une instruction complète. Tandis que les officiers travaillent à Paris, à Grignon, à Mont-

pellier, à Grand-Jouan, on a créé pour les soldats de nombreuses écoles pratiques, et comme le succès en a été éclatant, à côté des établissements fondés par l'État s'en élèvent de nouveaux aux frais des départements et même de simples particuliers.

L'instruction des adultes est confiée aux professeurs départementaux d'agriculture, qui ajoutent à l'enseignement oral des conférences du dimanche, l'enseignement *de visu* si efficace, des champs d'expériences et de démonstration.

Les cultivateurs ont été entraînés dans cette marche en avant, et les associations, les syndicats qu'ils ont formés récemment, les mettant à l'abri des tromperies dont ils ont été si longtemps victimes, leur permettent d'acquérir à bas prix des engrais d'une composition soigneusement contrôlée, aussi l'emploi de ces engrais s'est-il considérablement accru.

L'agriculture cesse d'être purement empirique, elle devient une science; les praticiens n'acceptent plus sans les discuter les vieilles formules établies lentement par une longue série d'observations transmises d'une génération à l'autre; très sagement, ils veulent non les abandonner, mais en comprendre la raison et les améliorer; pour y réussir, des connaissances positives leur sont nécessaires, j'ai essayé de les leur fournir.

TRAITÉ

DE CHIMIE AGRICOLE

PREMIÈRE PARTIE

DU DÉVELOPPEMENT DES VÉGÉTAUX

CHAPITRE PREMIER

DE LA GERMINATION.

Ce premier chapitre, dans lequel nous étudions les phénomènes qui déterminent l'apparition des organes nouveaux, se partage naturellement en quatre sections correspondant à la nature des organes qui commencent à évoluer, nous nous occupons successivement du passage de la vie latente à la vie active : des graines, des tubercules, des bulbes et des bourgeons.

CHOIX ET ÉVOLUTIONS DES GRAINES

§ 1er. — Du choix de la graine.

Le choix d'une graine comporte l'examen : de la variété à laquelle elle appartient, de sa pureté et de ses qualités germinatives.

Variété. — Presque toutes les espèces de plantes cultivées comprennent aujourd'hui un très grand nombre de variétés parmi lesquelles il faut choisir celles qui élaborent au maximum le produit cherché, qui s'adaptent le mieux aux conditions de climat et de sol que présente le domaine exploité. Dans la culture de la

betterave à sucre, du choix de la graine dépend la richesse des racines et par suite leur valeur marchande ; dans la culture du blé, le choix est particulièrement déterminé par le climat : telle variété qui donne d'admirables récoltes dans la région septentrionale, s'échaude et ne porte qu'un grain petit, ridé, chétif dans le midi.

Nous discuterons en détails les qualités des diverses variétés des plantes de grande culture dans la seconde partie de cet ouvrage, mais il était nécessaire, dès le début, d'attirer l'attention des cultivateurs sur l'extrême intérêt qui s'attache au choix des variétés à semer.

Ce choix est encore particulièrement important dans la culture du lin. Il n'est plus déterminé par la nature de la variété, mais bien par l'origine de la semence. Les praticiens ont reconnu que la graine provenant directement de Riga est celle qui offre le plus de chances de réussite ; elle est expédiée de Russie dans de petits barils portant des marques spéciales ; elle est désignée sous le nom de *graine de tonne* ; on réussit encore à obtenir de bonnes récoltes en employant la graine recueillie sur les lins semés en France et provenant des semences de Riga ; cette graine est désignée sous le nom de graine *d'après tonne* (1), mais il est rare qu'on sème les graines provenant de cette seconde récolte.

Qualité germinative de la graine. — Pour assurer la réussite complète d'une récolte, il faut que tous les individus qui la composent et croissent sur le même champ parcourent simultanément toutes les phases de leur développement et que surtout tous arrivent ensemble à maturité ; si celle-ci est inégale, on est conduit à retarder la moisson, ce qui occasionne des pertes sensibles ; il est donc très important que les graines semées possèdent des qualités germinatives identiques ; pour s'assurer que cette condition est remplie, on procède dans les laboratoires d'essais de semences à la détermination du pouvoir germinatif des graines.

On a employé pendant quelque temps pour ces essais le germoir de Nobbe : il se compose essentiellement d'une plaque de terre cuite présentant au centre une large cavité peu profonde dans laquelle sont placées les graines ; une rigole est destinée à contenir l'eau qui arrive par imbibition jusqu'à la cavité centrale ; quatre trous sont pratiqués aux angles, pour recevoir un couvercle qui retarde la dessiccation et préserve les graines des attaques des rongeurs ;

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 335.

en plaçant dans le germoir, où l'on a soin d'entretenir une humidité convenable, un nombre de graines déterminé, vingt par exemple, on peut suivre leur évolution et en déduire leur qualité germinative. Cet appareil présente cet inconvénient de se couvrir bientôt de moisissures; on les détruit par la calcination, qui malheureusement diminue beaucoup la porosité de la terre cuite.

Fig. 1. — Étuve d'Arsonval employée au laboratoire d'essais de semences de l'Institut agronomique de Paris.

Aussi, aujourd'hui, met-on les graines à germer entre des doubles de papier à filtrer humides, qu'on dispose dans une étuve semblable, à celle que présente la figure 1, chauffée par une circulation d'eau chaude à la température qu'on juge convenable.

Certaines espèces présentent à la germination une résistance prolongée, tels sont les trèfles, et comme l'évolution de cette plante

cultivée surtout comme fourrage n'exige pas aussi impérieusement que celle des céréales une maturation simultanée, on est convenu, dans la pratique du contrôle, d'ajouter au nombre des graines qui se gonflent en dix jours, un dixième.

En général les graines qui ne donnent pas de germes, après dix ou quatorze jours, peuvent être considérées comme ayant perdu leur faculté germinative; quelques-unes germeront, sans doute, un peu plus tard, mais sans profit pour le cultivateur, car elles donneront des individus trop retardés dans leur évolution pour atteindre la maturité en même temps que le reste du champ.

Age de la graine. — M. Samek (1) a déterminé récemment la faculté germinative après un, deux, trois, quatre et cinq ans, de semences conservées dans des sachets de papier et dans un local sec et chauffé en hiver. Quelques chiffres feront voir combien la diminution de la faculté germinative varie d'une espèce à l'autre. Ces chiffres expriment le nombre de semences levées sur 100 mises à l'essai : le premier chiffre après un an de conservation, le deuxième à la fin de la deuxième année et ainsi de suite. Les nombres mis entre parenthèses expriment la diminution pour 100 de la faculté germinative après cinq années de conservation.

Trèfle rouge 94, 96, 95, 89, 82 ; autre échantillon 85, 83, 81, 80, 65, (18); trèfle hybride 73, 64, 51, 37, 15 (79); trèfle blanc 74, 72, 63, 52, 50 (32); sainfoin 87, 92, 78, 61, 54 (35); luzerne 98, 95, 98, 81, 79 (31); ray grass anglais 73, 80, 75, 66, 41 (51); ray grass d'Italie 74, 68, 70, 60, 55 (38); fétuque des prés 72, 66, 61, 55, 32 (40); vulpin 13, 8, 8, 6, 4 ; fléole 96, 93, 92, 88, 81 (9); dactyle 41, 47, 44, 38 ; pâturin des prés 28, 16, 17, 17, 16.

D'autres expériences ont porté sur des céréales très pures, bien mûres, et conservées pendant onze ans, dans des bocaux de verre. Les chiffres indiquent la proportion de graines susceptibles de germer sur 100 mises en expérience.

Maïs de Padoue 56, avoine 25, orge 28, blé 0, seigle 0, lin 0, luzerne 60.

On voit qu'il y a grand intérêt pour le cultivateur qui achète ses semences à les soumettre au contrôle, pour s'assurer qu'un vendeur peu scrupuleux n'a pas joint à des graines fraîches de vieilles graines ayant perdu leurs facultés germinatives.

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 431. — On n'a pas reproduit toutes les séries d'essais, de façon que le chiffre mis entre parenthèse n'est pas complémentaire de celui qui précède.

Pureté de la graine. — Détermination des espèces. — Quand le champ à ensemencer ne doit contenir qu'une seule espèce, l'examen de la graine ne présente pas de grandes difficultés, et habituellement les appareils employés dans toutes les fermes pour purifier les semences suffisent pour éliminer les graines des plantes adventices qui souillaient les récoltes.

Il n'en est plus ainsi quand on doit créer des prairies, le mélange à semer est très complexe, et les cultivateurs trouveront grand avantage à soumettre les lots qu'ils veulent employer au contrôle des laboratoires d'essais de semences, pour savoir s'ils ont été formés judicieusement ; il est certaines espèces telles que le *fromental*, l'*Agrostis traçante* et la *Jacée des prés*, qui apparaissent spontanément quand les conditions sont favorables et il est rarement nécessaire de les introduire dans le mélange à semer.

Quand ce mélange n'est pas bien adapté au sol qui le reçoit, certaines espèces disparaissent et la prairie ne donne qu'un foin de médiocre qualité.

A Grignon, j'ai semé sur une terre qui avait porté cinq récoltes successives de sainfoin un mélange de 28 espèces différentes : graminées, légumineuses ; or après deux ans il n'en est resté que douze sur certaines parcelles et neuf sur d'autres, et le *fromental* ou l'*avoine élevée*, qui dominait dans le mélange semé, a fini par tout envahir, et ne fournir par suite qu'un foin de peu de valeur.

Il est donc du plus haut intérêt dans la création des prairies de constituer un mélange bien adapté aux conditions de fertilité du sol à transformer ; dans les pays comme la Suède où les prairies couvrent de grandes surfaces, les laboratoires d'essais de semences sont très nombreux ; ce n'est que récemment que cette utile institution a été établie en France, où elle rend déjà des services signalés.

La séparation des graines les unes des autres, nécessaire pour établir la composition d'un mélange complexe, s'exécute à l'aide de boîtes de fer blanc, renfermant plusieurs cribles, dont les orifices vont en croissant du crible inférieur à celui qui occupe la partie supérieure de la boîte ; celle-ci est placée sur un plateau qui est rapidement agité par un petit moteur à eau ; après cette agitation, on sépare les cribles, chacun d'eux renferme les graines de diamètres analogues, et on conçoit qu'en employant des cribles dont les orifices ne varient qu'entre d'étroites limites, on réussisse à faire un triage qui simplifie la séparation à la main qui termine l'opération.

Il est particulièrement important de ne pas introduire dans les semis les graines des plantes parasites, dont quelques-unes détruisent complètement les récoltes ; la graine de cuscute quoique plus petite que celle de la luzerne a quelque ressemblance avec elle, il est donc nécessaire, quand on sème cette légumineuse, de s'assurer que la graine est bien exempte de cuscute.

§ 2. — Préparation des graines.

Les cultivateurs ont, depuis longtemps, l'habitude d'ajouter aux graines, avant de les confier à la terre, diverses matières soit pour préserver les semences contre l'invasion des végétations cryptogamiques, telles que la carie, soit pour les mettre à l'abri des rongeurs, soit enfin pour favoriser le développement de la jeune plante ; nous examinerons la préparation des graines à ces points de vue différents.

Chaulage et sulfatage. — Pour préserver la graine de la carie on emploie depuis longtemps la chaux, d'où est venu le nom de l'opération, souvent désignée sous le nom de chaulage ; cette préparation n'est pas très profitable, car elle ne détruit qu'incomplètement les spores de la carie ; Isidore Pierre (1) a reconnu de plus qu'en versant sur du blé de semence un lait de chaux dont la température différait peu de 100 degrés, mélangeant ensuite vivement à la pelle le grain et le liquide, la température de ce dernier descendit assez vite, au contact du blé froid, à une température de 50 à 60 degrés ; cependant l'échauffement que la masse supporta d'abord fut préjudiciable, car un quart environ des grains qui avaient subi ce chaulage ne présenta aucune trace de germination.

Ce mode d'opérer doit donc être proscrit ; on remplace, au reste, très avantageusement la chaux par le sulfate de cuivre dont l'efficacité, reconnue depuis le commencement du siècle par Bénédict Prévost, a été démontrée de nouveau dans ces derniers temps par M. Boiret, répétiteur à l'école de Grignon (2). On dissout 100 grammes de sulfate dans une dizaine de litres d'eau, quantité suffisante pour un hectolitre de grains. Le blé est placé dans un baquet avec la dissolution à laquelle on ajoute assez d'eau pour qu'il soit recouvert d'une couche de liquide de 12 à 15 centimètres d'épaisseur. On brasse et, après avoir enlevé les grains surnageant,

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 176.
(2) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 289.

on met à égoutter dans des paniers qui, une heure après, sont plongés pendant un instant dans l'eau fraîche. Après avoir fait égoutter le grain une seconde fois, on le sèche en l'étendant sur une aire.

Il faut se garder d'élever la température de la dissolution de sulfate de cuivre, dans laquelle le blé doit être immergé, car, même quand la température ne dépasse pas 50 degrés, l'immersion pendant un temps très court peut suffire pour priver le blé de sa faculté germinative.

Empoisonnement. — Il arrive parfois que les champs sont envahis par des émigrations de rongeurs. Boussingault eut à lutter en 1854 contre des campagnols, qui causèrent dans le seul arrondissement de Wissembourg, dans le Bas-Rhin, des pertes s'élevant à 800 000 francs. Il reconnut après de nombreux essais que du blé imprégné d'un mélange de 20 grammes de chaux et de 2 grammes d'acide arsénieux pour un litre faisait périr les campagnols ; pour éviter de détruire le gibier le mélange est introduit dans les drains.

Pralinage. — Quelques cultivateurs ont l'habitude d'additionner leurs semences de diverses matières minérales destinées à nourrir la jeune plante pendant les premiers jours de sa vie ; à diverses reprises on a préconisé le *pralinage* des grains, sans que l'avantage de ces pratiques soit bien évident. On assure qu'en immergeant des grains dans l'eau tiède pour les gonfler avant de les confier au sol, et en dissolvant dans cette eau des sels ammoniacaux, de l'azotate de soude ou des superphosphates, on obtient une levée plus régulière, qu'en semant des graines non préparées.

Je n'ai pas eu occasion de reconnaître l'avantage de ces pratiques ; je croirais volontiers, dans tous les cas, qu'il convient d'employer le nitrate de soude, de préférence au sulfate d'ammoniaque ; celui-ci exerçant notamment sur les terres calcaires, probablement par formation de carbonate d'ammoniaque, une action funeste sur la levée, particulièrement quand on opère sur des semences délicates, comme celles des betteraves.

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA GERMINATION.

Pour qu'une graine germe, il faut que les matières qui enveloppent l'embryon, et qui sont destinées à le nourrir, à lui fournir les matériaux nécessaires à l'accroissement de sa radicelle et de sa

tigelle, entrent en dissolution, arrivent jusqu'à cet embryon, le pénètrent et soient assimilés.

L'étude du passage de la graine, de la vie latente à la vie active, comporte plusieurs paragraphes :

Nous devons chercher d'abord quelles sont les conditions extérieures nécessaires au réveil de la vie.

Ces conditions étant remplies, l'évolution de la graine commence et nous devons suivre les métamorphoses que subissent les principes contenus dans l'albumen, pour être utilisés à la formation des organes nouveaux.

§ 3. — Des conditions de la germination.

Pour qu'une graine vivante entre en germination, trois conditions sont nécessaires et suffisantes : il faut que la graine soit humide, placée dans une atmosphère oxygénée, et soumise à une température convenable.

Humidité. — Il n'est pas besoin d'insister sur la nécessité de l'humidité pour déterminer l'évolution de la graine; sèches, les graines peuvent être conservées longtemps sans altération. Le brasseur mouille les graines dans lesquelles il veut éveiller la vie, le jardinier arrose ses semis; les graines qu'on sème à une époque avancée de la saison, comme les betteraves, pour lesquelles on craint les gelées printanières, restent souvent en terre sans germer si la sécheresse suit les semailles. Quand la terre ne contient plus qu'une quantité d'eau très faible, la germination ne s'y produit que très irrégulièrement. A Grignon, en 1870, les betteraves ont manqué dans le champ d'expériences, dont la terre, jusqu'à 15 ou 20 centimètres, ne renfermait plus que 5 millièmes d'eau.

On croit, parfois, qu'un excès d'humidité est nuisible à la germination; dans un sol noyé, les graines pourrissent sans germer; mais dans ce cas, ce n'est pas l'excès d'humidité qui empêche l'évolution, c'est l'absence de l'oxygène, qui ne peut pénétrer dans une terre gorgée d'eau.

Il est facile de montrer que la germination se produit aisément dans l'eau, pourvu que l'oxygène ne fasse pas défaut. L'expérience peut être exécutée à l'aide de l'appareil suivant, que nous montrons depuis longtemps déjà dans nos cours du Muséum et de Grignon.

Sur un carton ou une planchette, on fixe des tubes de verre *a*, *b*, *c*, etc., de 10 centimètres environ, assez larges pour recevoir des

graines; on les relie les uns aux autres par des tubes à gaz courbés en arc de cercle; le premier tube porte un tube droit à entonnoir *f*, le dernier, un tube *g* recourbé, effilé, qui permet de rejeter au dehors l'eau qui circule dans l'appareil. Les tubes étant garnis de graines, on y fait circuler très lentement un courant d'eau. Les graines du premier tube, baignées par l'eau aérée, germent parfaitement; quelques-unes du second tube, trouvant encore un peu d'oxygène en dissolution dans l'eau, évoluent plus lentement, tandis que les graines

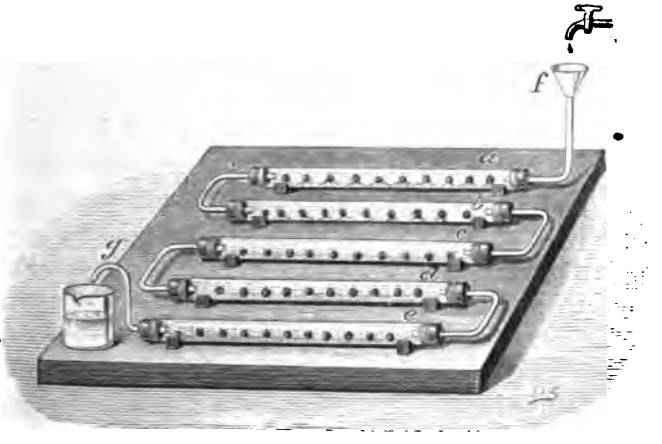


Fig. 2. — Appareil employé au Muséum pour montrer que les graines germent dans de l'eau aérée et pourrissent dans de l'eau ne contenant plus d'oxygène en dissolution.

contenues dans le dernier tube, ne recevant que de l'eau privée d'oxygène par son passage sur les graines des premiers tubes, ne montrent aucune trace de germination, mais, au contraire, pourrissent si l'expérience est quelque peu prolongée.

On peut encore faire germer les graines dans de l'eau tiède constamment parcourue par un courant d'air, ce qui démontre de nouveau qu'un excès d'humidité n'est pas nuisible à la germination.

Oxygène. — Ces expériences suffisent à établir que l'oxygène est nécessaire à la germination; il est facile, au reste, de le démontrer autrement; en plaçant des graines gonflées dans des atmosphères variées, on reconnaît qu'elles ne produisent des radicelles que dans les atmosphères oxygénées.

P. Bert a montré, il y a déjà plusieurs années (1), que l'oxygène amené à une tension plus forte que celle qu'il présente dans l'air

(1) *Comptes rendus*, 1873, t. LXVIII, p. 1493.

n'agit pas favorablement; lorsque la pression augmente beaucoup, la germination cesse de se produire; ainsi, dans de l'air comprimé à 10 atmosphères, les graines de ricin et de melon ne germent pas; au-dessus de 7 atmosphères, l'orge et le cresson cessent également de germer.

Nous montrerons plus loin comment on peut s'assurer facilement que la germination est toujours accompagnée d'un dégagement d'acide carbonique. La quantité de ce gaz, dégagée dans un temps donné, par un certain poids de graine, peut même servir de mesure à l'activité de la germination; si on emploie ce mode d'observation on trouve qu'en général cette activité ne croît pas avec la pression de l'oxygène.

Tous les physiologistes, M. Bœhm et M. Rischawi aussi bien que P. Bert, reconnaissent que l'excès de l'oxygène n'exerce aucune influence accélératrice sur la germination. M. Johannsen a observé cependant que les hautes pressions (jusqu'à 5 atmosphères de pression partielle de l'oxygène) à 20 ou 25 degrés ont d'abord augmenté le dégagement de l'acide carbonique dans des proportions différentes pour diverses espèces, mais que, plus tard, si l'expérience se prolonge, le dégagement diminue jusqu'à la mort de la plante, et cela d'autant plus vite que la pression a été plus forte; quand, après avoir séjourné de deux à quatre heures dans l'oxygène comprimé de 2 à 5 atmosphères, les plantes sont replacées dans les conditions ordinaires, elles dégagent plus d'acide carbonique qu'elles ne le faisaient, à la même température, avant l'expérience (1).

Influence des autres gaz. — L'azote ou l'hydrogène ne paraissent exercer aucune action fâcheuse sur la germination; il n'en est plus ainsi de l'acide carbonique; son influence funeste, observée déjà par Th. de Saussure, a été constatée de nouveau plus récemment. L'oxygène mélangé à de faibles quantités d'acide carbonique provoque un commencement de germination, qui ne tarde pas à s'arrêter.

Quelques gaz dissous paraissent favoriser la germination, tel est le chlore; on sait que ce gaz détermine, très aisément, la décomposition de l'eau; l'oxygène mis en liberté au contact de la graine provoque une germination qui n'aurait pas lieu sans lui. En revanche, plusieurs matières antiseptiques, telles que l'acide phénique, l'acide borique, l'acide salicylique, arrêtent toute évolution de la graine en tuant l'embryon.

(1) *Ann. agron.*, t XI, p. 409.

Influence de la température. — Cette influence a été déterminée par plusieurs méthodes différentes, soit en cherchant, à diverses températures, l'apparition plus ou moins rapide des radicelles dans un certain nombre de graines, soit en mesurant la quantité d'acide carbonique produite pendant un temps déterminé.

Cette méthode a été employée par M. Rischawi (1), qui a utilisé un appareil très judicieusement combiné pour éliminer la perturbation que déterminerait l'acide carbonique produit par la germination même, sur la marche régulière du phénomène.

Les graines sont placées dans un tube, sur une toile métallique placée à une faible distance au-dessus d'une couche d'eau, qui repose elle-même sur du mercure; le tube est parcouru par un courant d'air pur ou d'oxygène, qui abandonne à de l'eau de baryte l'acide carbonique produit par la germination.

A l'aide de cet appareil, M. Rischawi a obtenu, pendant la germination des haricots, les quantités suivantes d'acide carbonique, qui peuvent, en quelque sorte, servir de mesure à l'activité du phénomène :

	Acide carbonique. — mill.
Pendant une heure dans l'air à 20°, on a recueilli.....	39.60
— dans l'oxygène à 20°, on a recueilli.....	39.60
La température est abaissée à 6°, en une heure dans l'air.....	21.22
— — — dans l'oxygène.	21.22
La temp. descend à 2°, pendant une heure dans l'air.....	10.56
— — — dans l'oxygène ...	10.50
— — — dans l'air.....	10.56
— — — dans l'oxygène...	9.90
La température s'élève à 18° en une heure dans l'air.....	32.34
— — dans l'oxygène....	31.68

L'influence de la température est donc très sensible, mais celle de la dilution de l'oxygène l'est très peu, l'oxygène dilué paraissant cependant un peu plus favorable.

L'élévation de la température est favorable à la germination jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle cette germination n'a plus lieu.

Les températures auxquelles commence et s'arrête la germination, celles auxquelles elle se produit avec le plus d'activité, désignées sous le nom d'optimum, ont été déterminées par de nom-

(1) *Ann. agron.*, t. III, p. 144.

breuses recherches ; nous donnons ici quelques chiffres se rapportant à des plantes vulgaires (1).

	Limite inférieure.	Optimum.	Limite supérieure.
Moutarde (*Sinapis alba*).....	0°,0	27°,4	37°,2
Cresson (*Lepidum sativum*).....	1°,8	21°,0	28°,0
Lin (*Linum usitatissimum*).....	1°,8	21°,0	28°,0
Blé (*Triticum vulgare*).....	5°,0	27°,4	37°,2
Orge (*Hordeum vulgare*).....	5°,0	28°,7	37°,7
Trèfle (*Trifolium repens*).....	5°,7	21°,25	28°,0
Pois (*Pisum sativum*).....	6°,7	26°,6	»
Lupin (*Lupinus albus*)..	7°,5	28°,0	»
Navet (*Brassica Napus*).....	»	31°,5	42°,5
Chanvre (*Cannabis sativa*).....	»	31°,5	42°,5
Maïs (*Zea Maïs*).....	9°,5	33°,7	46°,2
Melon (*Cucumis Melo*).....	»	37°,5	»
Sésame (*Sesamum orientale*).....	13°,0	25°,0	45°,0
Courge (*Cucurbita Pepo*).....	13°,7	33°,7	46°,2

Influence de la lumière et de l'électricité sur la germination. — Un grand nombre d'essais ont été tentés pour montrer l'influence de ces agents sur la germination ; ils ont conduit à des résultats contradictoires sur lesquels il est inutile d'insister (2).

§ 4. — Des modifications que subit l'atmosphère maintenue au contact des graines germées. — analyse des gaz.

Les conditions précédentes étant réalisées, la graine étant maintenue humide, dans une atmosphère oxygénée, à une température convenable, entre en germination, et l'atmosphère dans laquelle elle est plongée perd de l'oxygène et gagne de l'acide carbonique.

Rien n'est plus simple que de faire passer, au travers d'un flacon renfermant de l'eau de baryte, de l'air qui a séjourné sur les graines ; on voit le gaz provoquer immédiatement un précipité blanc de carbonate de baryte. Aussitôt qu'on veut aller plus loin, reconnaître, par exemple, que la production d'acide carbonique est corrélative d'une absorption d'oxygène, il convient de procéder à des analyses de gaz, et nous devons indiquer quels sont les procédés à employer.

Disposition des expériences. — Les graines germent très bien au contact du mercure ; quand on ne cherche pas une grande pré-

(1) Van Tieghem, *Traité de botanique*, p. 88 et 89.

(2) Voyez *Ann. agron.*, t. VI, p. 29, une traduction d'un mémoire de M. Solly dans lequel il résume un très grand nombre d'expériences exécutées, au dix-huitième siècle et plus récemment, sur l'influence de l'électricité sur la végétation. — Sur le rôle de la Lumière, Pauchon, *Ann. des scienc. natur.*, *Botan.*, 6e série, t. X, p. 408.

cision, on peut opérer de la façon suivante : on mesure sur l'eau un volume de gaz, dans une cloche de 100 à 200 centimètres cubes; on y introduit des graines qui flottent dans le liquide; on transporte le tout sur la cuve à mercure; avec une pipette courbe, on aspire la plus grande partie de l'eau, n'en laissant qu'une mince couche à la surface du mercure; les graines sont abandonnées dans cette atmosphère limitée pendant quelques jours; quand on met fin à l'expérience, on mesure les gaz en tenant compte de la température et de la pression, et on procède aux analyses comme il sera dit plus loin; cette méthode grossière suffit, cependant, pour montrer, dans un cours, qu'une partie de l'oxygène a disparu, et a été remplacée par de l'acide carbonique.

Ce mode d'opérer ne peut être employé, quand il s'agit de chercher les rapports existant entre l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis, car les graines, pendant la germination, se gonflent en absorbant l'eau, et cette eau, dissolvant beaucoup mieux l'acide carbonique que l'oxygène, enlève à l'atmosphère confinée plus d'acide carbonique que d'oxygène, et on trouve à la fin de l'expérience, quand on se borne à analyser l'atmosphère extérieure aux graines, un nombre trop faible pour l'acide carbonique.

Fig. 3.—Tube renfermant les graines en germination.

Quand on veut opérer rigoureusement, on procède de la façon suivante : on met à gonfler des graines dans l'eau pendant quelques jours ; quand elles sont prêtes à entrer en germination, on les introduit dans un petit tube de 20 millimètres de diamètre sur 60 à 150 millimètres de longueur, rodé à l'une de ses extrémités, et portant à l'autre un robinet de verre (fig. 3); l'extrémité rodée peut être fermée hermétiquement à l'aide d'une petite plaque de verre recouverte de cire Golaz; puis on introduit le tube dans un bain d'eau maintenu à une température constante, et par l'intermédiaire du robinet on met le tube en communication avec une trompe à mercure.

Trompe à mercure. — Cet appareil, qui rend aujourd'hui de grands services dans les laboratoires, permet de faire le vide dans un espace donné, et de recueillir les gaz extraits, entraînés par un courant de mercure.

Sur un solide bâtis de bois (fig. 4), se trouve à la partie supé-

rieure un large vase de verre A destiné à recevoir le mercure; en ouvrant la pince *b*, qui ferme un gros tube en caoutchouc, (fig. 5) on fait écouler le liquide dans le tube *c*, d'où il passe dans le tube *d* et arrive jusqu'au tube *f* beaucoup plus fin que les précédents.

En tombant dans ce tube *f*, d'un faible diamètre, le mercure se divise en gouttelettes qui entraînent le gaz amené par le tube *g*, fixé à un des robinets représentés sur la figure 5 qui donne une vue de la partie postérieure de la trompe.

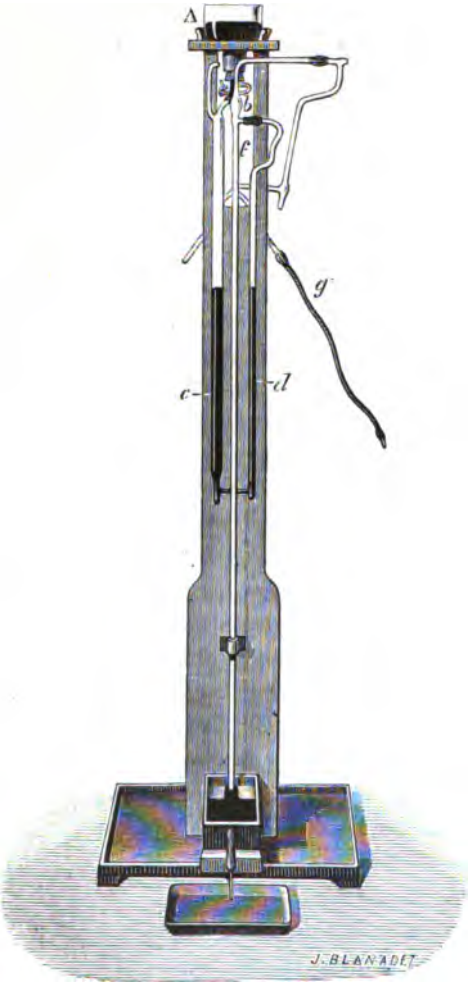


Fig. 4. — Trompe à mercure, vue de face.

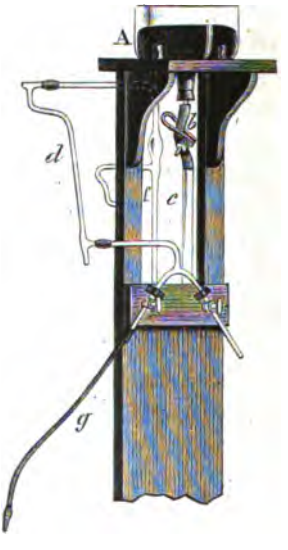


Fig. 5. — Trompe à mercure, vue par derrière.

Le tube *g* est en plomb, il est lié à la trompe par du mastic Golaz, qui sert également à établir les autres raccords.

Quand le tube contenant les graines est lié à la trompe par le tube *g*, on fait le vide en ouvrant les robinets sans recueillir les

gaz. On laisse alors entrer, par le second robinet attenant à la trompe et représenté dans la figure 5, l'air préalablement purifié par son passage à travers un long tube à potasse; on attend deux minutes que l'échauffement produit par la rentrée du gaz se soit dissipé; on ferme le second robinet et celui qui termine le tube à graines, et on fait le vide à fond dans les espaces nuisibles de la trompe. On ouvre alors le robinet du tube qui contient les graines, et on continue à faire le vide en recueillant, cette fois, l'air qui s'échappe; lorsqu'on est arrivé au vide complet, on a, sous la cloche de la trompe, les gaz contenus dans le tube et dans les graines; on le mesure, puis on ouvre tous les robinets, de façon à faire entrer dans le tube un volume d'air pur, égal à celui qu'on vient de mesurer.

Le tube renfermant les graines contient un volume d'air pur connu, maintenu invariable par la fermeture du robinet; il est alors séparé et placé dans un manchon renfermant de l'eau à une température constante; après quelques heures, ou le lendemain si le volume des graines n'est qu'une fraction minime de celui du gaz confiné, on lie de nouveau le tube à la trompe; on fait le vide dans les espaces nuisibles, puis quand le mercure n'entraîne plus de gaz, on place la cloche sous le bec de la trompe, on ouvre le robinet du tube à graines, et on extrait les gaz; on obtient ainsi non seulement l'atmosphère qui entoure les graines, mais, en outre, les gaz confinés qu'elles renferment.

La présence des gaz dans les graines germées est, en effet, très facile à observer; en plaçant les graines dans de l'eau bouillie, puis en les soumettant à l'action du vide, on voit sortir des chapelets de fines bulles de gaz; on évite, par la méthode précédente, l'erreur que l'on commet en se bornant à analyser l'atmosphère qui entoure les graines.

Analyse par les réactifs absorbants et l'eudiomètre à main. — Les analyses de gaz peuvent s'exécuter avec les appareils habituellement en usage dans les laboratoires, elles ne présentent pas le degré de rigueur qu'on obtient en employant l'eudiomètre de M. Schlœsing; nous décrirons successivement ces deux méthodes.

Dosage de l'acide carbonique. — Les gaz à analyser renfermant de l'acide carbonique, il est indispensable d'opérer constamment sur le mercure. Dans ces conditions le dosage de l'acide carbonique se fait exactement en employant l'éprouvette à potasse. On prend une petite cloche d'une capacité de 60 à 80 centimètres cubes, on étend à la partie supérieure une dissolution très concentrée de potasse, de façon qu'elle adhère aux parois et ne vienne

pas former une couche liquide au sommet quand l'éprouvette sera remplie de mercure.

L'opération commence par la mesure de 20 à 25 centimètres cubes du gaz à analyser.

On y procède en les introduisant dans un tube divisé en dixièmes de centimètre cube, vérifié et corrigé s'il y a lieu, et dans lequel on peut apprécier aisément les quarts ou même les dixièmes de division. On a soin de déposer au fond du tube une très petite gouttelette d'eau de manière à saturer les gaz.

Au moment de chaque mesure on ferme le tube avec un bouchon de liège fin, légèrement mouillé pour qu'il n'y reste pas d'air adhérent, et traversé par un fragment de tube capillaire, servant à établir la communication entre le mercure de la cuve et celui du tube. (On sait que cette disposition a été recommandée par M. Berthelot pour le dosage des carbures éthyléniques par le brome.) On maintient le tube entièrement plongé dans la cuve pendant une à deux minutes pour qu'il en prenne exactement la température, puis on le saisit par une pince garnie de liège pour éviter son échauffement au contact des doigts, on le soulève jusqu'à ce que le mercure soit sur un même plan à l'intérieur et à l'extérieur, on bouche avec le doigt l'extrémité du tube capillaire, enfin on enlève le tout de la cuve et on procède à la lecture.

Le gaz est ensuite transvasé dans la petite éprouvette mouillée intérieurement de potasse, et au besoin dans une autre semblable, où on le laisse séjourner jusqu'à ce qu'il ne se produise plus d'absorption, puis on le fait repasser, en s'aidant d'un petit entonnoir, dans le tube divisé où on mesure le résidu comme précédemment. Il est important de s'assurer que la température de la cuve n'a pas varié ; dans le cas contraire le volume doit être corrigé d'après les règles connues.

Dosage de l'oxygène. — Le gaz est alors transvasé de nouveau dans une éprouvette de 30 à 40 centimètres cubes et laissé en contact, pendant cinq minutes environ, avec 5 à 6 centimètres cubes d'une dissolution concentrée de chlorure cuivreux (1) dans l'ammoniaque. Ce réactif est conservé dans un flacon de 100 grammes en présence d'une bulle d'air, ou plutôt d'azote, qui a pour but de le maintenir saturé de ce gaz à la pression ordinaire. L'éprouvette est alors transportée sur la cuve à eau, et le gaz qu'elle contient est mesuré dans le même tube que précédemment, avec les précautions indiquées. On note la température de l'eau, généralement différente de celle du mercure, on fait les corrections nécessaires, enfin on retranche du volume final une constante qui, dans les expériences exécutées au Muséum, est généralement de 0,18, pour tenir compte du changement de ménisque, les lectures étant toujours faites, sur le mercure et sur l'eau, tangentiellement à sa plus forte courbure. Il n'y a pas lieu de se préoccuper de la tension de l'ammoniaque lorsque la cuve à eau est suffisamment grande; il faut bien se garder d'aciduler cette eau, car il pourrait se produire un dégagement d'acide carbonique aux dépens du carbonate

(1) Le chlorure cuivreux s'obtient très facilement et en grande quantité en faisant passer un courant rapide de chlore sec sur du cuivre chauffé au rouge dans un tube en porcelaine; si le tube est légèrement incliné, le chlorure cuivreux coule régulièrement par son extrémité ouverte. On le fait refondre et on le moule dans une lingotière, en cylindres analogues aux crayons de nitrate d'argent. Ainsi préparé, il se conserve indéfiniment dans un flacon sec.

d'ammoniaque que renferme toujours l'ammoniaque commerciale, et le dosage d'azote serait trouvé trop fort.

Apparition de l'hydrogène et du formène. — En général l'analyse des gaz de la germination ne porte que sur l'oxygène, l'acide carbonique et l'azote; cependant, quand on laisse les graines au contact d'une atmosphère limitée pendant un temps assez long, elles finissent par absorber l'oxygène jusqu'à la dernière trace, elles émettent ensuite de l'acide carbonique dont les deux éléments sont fournis par les principes qu'elles renferment, et si l'expérience se prolonge, les graines dégagent de l'hydrogène ou même du formène.

L'analyse de l'atmosphère des graines exige dans ce cas l'emploi de l'eudiomètre.

On mesure sur le mercure de 1 à 2 centimètres cubes du gaz dépouillé d'acide carbonique, on y ajoute 5 ou 6 centimètres cubes d'oxygène pur; puis on introduit le mélange dans le petit eudiomètre Riban.

Recherches des gaz combustibles. — On bouche celui-ci avec un petit bouchon de liège percé d'un trou, on le fixe sur la cuve à mercure avec un support bien serré, et on fait passer l'étincelle; après la détonation, on transvase le gaz restant dans l'eudiomètre, dans le tube mesureur, on ferme avec le bouchon muni du petit tube, on met le niveau intérieur sur le même plan que le niveau extérieur et enlevant le tube dont l'orifice est fermé avec le doigt, on lit le volume du gaz restant.

On fait alors passer ce gaz dans l'éprouvette à potasse; s'il ne présente aucune diminution de volume, c'est la preuve que le gaz ne renfermait que de l'hydrogène qu'on calcule en prenant les deux tiers du volume disparu; si on constate au contraire que la potasse a absorbé une partie du gaz, on en conclut que le gaz mis à détoner renfermait du formène, dont le volume est précisément égal à celui de l'acide carbonique formé.

Si la contraction constatée après la détonation était double du volume d'acide carbonique trouvé, c'est que le gaz combustible était du formène pur; si au contraire la contraction était plus considérable, c'est qu'on avait un mélange de formène et d'hydrogène; pour trouver ce dernier gaz, il suffira de prendre les deux tiers du volume disparu, après qu'on aura retranché de ce volume disparu le double du formène (1).

Emploi de l'eudiomètre de M. Schlœsing. — Dans cet appareil les gaz sont toujours amenés à un volume invariable obtenu en modifiant la pression

(1) $$\underbrace{CH^4}_{2\text{ vol.}} + \underbrace{4O}_{4\text{ vol.}} = \underbrace{2H^2O}_{4\text{ vol.}} + \underbrace{CO^2}_{2\text{ vol.}}$$

Le volume du formène est égal à celui de l'acide carbonique, les six volumes primitifs sont réduits à deux; la contraction est double du volume de l'acide carbonique.

qu'ils supportent, les variations de niveau d'une colonne de mercure indiquent la pression à laquelle le gaz est soumis et on déduit, de ces différences de pression, les changements de volume qui se sont produits par l'action des réactifs.

Deux tubes de verre *a* et *b* sont mastiqués l'un et l'autre dans une pièce en fonte qui soutient également le manchon à eau dans lequel les tubes sont plongés (fig. 6). Les deux tubes sont reliés par un tube courbé en arc de cercle, portant une tubulure inférieure *c*, liée par un fort et long caoutchouc *d* à un flacon de verre *g* renfermant du mercure; le flacon repose sur une étagère en bois *h* qui est mobile entre deux glissières verticales et qu'on peut fixer en tel point qu'on veut au moyen d'une vis de pression. On voit immédiatement que le mercure s'élèvera toujours au même niveau dans le tube vertical *b* et dans le flacon *g*, et que pour le faire affleurer au trait *i*

Fig. 6. — Eudiomètre Schlœsing.

Fig. 7.

marqué sur la branche *a* du mesureur, il suffira de déplacer verticalement l'étagère et avec elle le flacon d'une longueur convenable. Par ce moyen on

produit très commodément et très vite de grandes variations de niveau du mercure dans l'appareil.

Pour réaliser de très petites variations de ce niveau, il faut pouvoir donner de très petits déplacements verticaux au flacon. A cet effet, la planchette de l'étagère, au lieu d'être horizontale, présente une très faible inclinaison, telle, qu'entre ses deux extrémités il existe une différence de niveau d'environ 5 millimètres.

Au mesureur *a* est soudé un tube capillaire recourbé, qui est lié par un fort caoutchouc *m* bien serré à un tube capillaire recourbé en forme de pipette Doyère (fig. 7); ce tube plonge dans une cuve à mercure qui est fixée invariablement au support en bois de l'eudiomètre. L'extrémité *o* ouverte du tube capillaire est rodée et peut se boucher au moyen d'un obturateur très simple *q*, formé d'un agitateur dont la tête aplatie est recouverte d'une plaque de caoutchouc, tandis que l'autre extrémité est chargée de plomb, qui tend à l'enfoncer dans le mercure.

L'introduction et la mesure des gaz dans l'appareil comportent les opérations suivantes : il convient d'abord que la mesure ait lieu dans une atmosphère saturée ; pour introduire un peu d'eau dans l'appareil, on remplit une cloche de mercure, avec une pipette courbe on fait pénétrer de l'eau à sa partie supérieure; on lève le flacon *g* de façon à remplir tout l'appareil de mercure, on enlève la cloche renfermant l'eau de la cuve à mercure à l'aide d'une cuillère en fer, on introduit la cloche dans la cuve de l'eudiomètre, on la fait passer au-dessus du tube capillaire *o*, puis en l'enfonçant doucement de la main gauche, tandis que de la main droite on descend le flacon, on appelle l'eau puis le mercure qui coule dans le mesureur; on relève alors le flacon de façon à remplir de nouveau l'appareil de mercure, celui-ci refoule l'eau dans la cloche, mais il en reste cependant sur les parois une quantité suffisante pour que les gaz soient saturés.

Cette première opération étant faite, le mesureur étant rempli de mercure, on apporte la cloche renfermant le gaz dans la cuve de l'eudiomètre, on enlève un peu de mercure en tournant le petit tube *p* de façon à ne pas perdre de mercure, on la place au-dessus de l'orifice *o* du tube capillaire, puis on l'enfonce dans le mercure et on en appelle le gaz en descendant le flacon.

Quand le mercure coule dans le tube *a* tout le gaz est dans le mesureur, on enlève la cloche et on ferme l'orifice du tube avec l'obturateur; il convient maintenant de fixer le mercure jusqu'au repère *l* marqué sur le tube capillaire (fig. 7), on y réussit en manœuvrant d'une main l'obturateur, de l'autre le flacon; quand le mercure affleure à ce repère, on ferme le tube avec l'obturateur; il faut maintenant amener le mercure dans le tube *a*, au niveau *i* qui limite le volume du gaz, volume qui doit toujours rester invariable, ce qu'on fait en manœuvrant la glissière, puis le flacon sur la planchette, on n'a plus alors qu'à lire (1) sur le tube *b* gradué le nombre de divisions au-dessus ou

(1) La lecture des divisions auxquelles affleure le mercure du tube *b* doit être faite avec la plus grande exactitude; pour l'exécuter, nous avons ajouté à l'eudiomètre employé au Muséum un manchon de laiton, représenté au bas de la figure 6; il se déplace à frottements doux sur le manchon de verre, on l'élève jusqu'à faire affleurer son bord inférieur au niveau du mercure de façon qu'il n'existe qu'un espace très réduit entre le niveau du mercure et le bas du manchon du laiton; enfin pour lire

au-dessous de la ligne zéro qui correspond exactement à la hauteur *i* dans la branche A.

Pour éviter les corrections relatives aux températures, on maintient le gaz à une température constante, à l'aide d'un manchon rempli d'eau, agité constamment par un courant d'air amené par le tube *l*, on lit la température de l'eau, au thermomètre reproduit à la partie supérieure des figures.

Imaginons que nous ayons à analyser un gaz provenant de la germination et renfermant de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote; le gaz ayant été mesuré comme il vient d'être dit, c'est-à-dire que le gaz occupant le volume invariable (*l*, *l*), on a lu la hauteur du mercure dans le tube *b* au-dessus et au-dessous de zéro, il importe de noter la température de l'eau du manchon qu'on rend uniforme dans toute sa hauteur, et constante en mouillant la partie extérieure du manchon avec de l'eau froide ou tiède, en y faisant passer constamment un courant d'air. Cette première mesure terminée, on élève le flacon à mercure pour repousser le gaz dans sa cloche; quand tout y a passé, ce qu'on reconnaît en voyant le mercure couler par l'orifice O du tube, on enlève la cloche avec la cuillère de fer, on la porte sur la cuve ordinaire, on fait passer le gaz dans l'éprouvette à potasse, on l'y laisse pendant cinq minutes, puis on fait passer de nouveau le gaz dans la cloche de l'eudiomètre et on l'introduit dans le mesureur; quand le mercure est bien fixé au repère, on manœuvre le flacon *g* pour que le mercure affleure à *i* et on lit la division à laquelle arrive le mercure dans le tube *b*, en prenant toutes les précautions indiquées dans la note précédente.

Le gaz contenu dans le mesureur ne renferme plus que l'oxygène et de l'azote; pour connaître le volume de l'oxygène on fait pénétrer dans le mesureur de l'hydrogène qu'on introduit d'abord dans la cloche de l'eudiomètre, puis qu'on fait passer dans le mesureur à l'aide des manipulations déjà décrites, on lit le niveau du mercure; on descend alors le flacon de façon à détendre beaucoup les gaz, puis à l'aide d'une petite bobine de Rhumkorf animée par une pile à bichromate on fait passer l'étincelle, en plongeant les deux conducteurs de la bobine dans les deux petits godets à mercure où arrivent les fils qui traversent le tube *a* où a lieu la détonation (fig. 7). On ramène alors le niveau du mercure dans le tube *a* au niveau *i* et on lit la division à laquelle le mercure arrive dans le tube *b*.

Nous donnerons l'exemple suivant d'une analyse d'air atmosphérique pris dans le laboratoire, exécutée par cette méthode.

Pression barométrique restée invariable pendant toute la durée de l'analyse..... $764^{mm},4$
Température de l'eudiomètre 14°,25. Tension de la vapeur d'eau. $12^{mm},1$

	Divisions lues.	Pressions réelles (1).	
Gaz analysé.....	— 84.7	$649^{mm},6$	Ac. carbon. 0,6
Après potasse.....	— 85.3	$649^{mm},0$	

correctement, il faut encore que l'œil soit sur le même plan que la division à inscrire; on s'assure que cette condition est remplie à l'aide d'une équerre qu'on appuie sur le bâtis de bois, quand on ne voit de la partie supérieure de l'équerre qu'une ligne, on vise dans le plan horizontal, et la lecture est correcte.

(1) La pression réelle s'obtient par la différence $764,4 - (12^{mm},1 + 84.7) = 649,6$.

Avec hydrogène.....	+ 407.5	1141mm,8	Contract. 407,4
Après détonation.....	+ 0.1	734mm	

d'où l'on déduit pour la composition centésimale du gaz :

$$\text{A. carb. } \frac{600}{6496} = 0{,}09 \qquad \text{Oxygène } \frac{1}{3} \times \frac{407\,400}{6\,496} = 20{,}90.$$

La correction du baromètre à zéro n'a pas d'influence sensible sur les résultats de l'analyse.

Absorption complète d'oxygène par les graines en germination. — Les méthodes que nous venons de décrire permettent d'étudier avec précision l'action qu'exercent les graines sur l'atmosphère confinée dans laquelle elles sont plongées.

Il est très important, dans ces expériences, de ne pas exagérer le poids des graines ; quand ce poids est considérable par rapport au volume du gaz à modifier, les phénomènes se compliquent, car les graines s'emparent de l'oxygène jusqu'à la dernière trace ; c'est encore ce qui arrive quand on maintient une petite quantité de graines humides sous une cloche retournée sur le mercure dans de l'air ordinaire, pendant plusieurs jours.

Si on prolonge l'expérience, après que cette absorption est complète, on observe que le volume du gaz augmente, la graine produit de l'acide carbonique, dont les deux éléments sont fournis par la décomposition de sa matière même. Cette altération est parfois accompagnée, ainsi qu'il a été dit, d'un dégagement d'hydrogène ou même d'hydrogène protocarboné, mais on n'observe jamais la production de ces gaz dans une germination régulière, où les graines sont maintenues en présence d'une quantité suffisante d'oxygène.

§ 5. — Rapport entre l'acide carbonique émis et l'oxygène absorbé.

Expériences de MM. A. Mayer et A. de Wolkoff (1). — L'erreur commise dans la détermination d'un rapport $\frac{CO^2}{O}$ obtenu en analysant simplement le gaz confiné resté au contact des graines est due, nous l'avons dit déjà, à l'inégale solubilité de l'oxygène et de l'acide carbonique dans l'eau qui gonfle les graines ; on conçoit que cette erreur puisse disparaître, quand l'acide carbonique est absorbé aussitôt qu'il est produit ; la quantité d'acide carbonique

(1) *Ann. des sciences naturelles bot.*, t. I, 6e série, p. 241.

dissoute dans l'eau des graines est, en effet, fonction de la pression que présente ce gaz dans l'atmosphère ambiante, si cette pression est très faible par suite de l'absorption constante de l'acide carbonique ; la proportion de ce gaz qui reste dissoute est sensiblement nulle.

Ce sont ces conditions qu'ont réalisées MM. A. Mayer et de Wolkoff, dans un appareil consistant essentiellement en un tube en V retourné, dont l'une des branches renfermait les graines, tandis que l'autre ouverte sur le mercure renfermait une petite quantité de potasse caustique destinée à recueillir l'acide carbonique aussitôt qu'il était émis ; la diminution de volume accusée par l'ascension du mercure dans le tube permettait de suivre l'intensité de la respiration.

Les auteurs ne se sont préoccupés que de cette diminution de volume, par conséquent leurs expériences ne semblent pas s'appliquer à la détermination du rapport $\frac{CO^2}{O}$ dont nous nous occupons, mais si nous nous arrêtons un instant sur leur travail, c'est qu'il a servi de point de départ aux recherches de M. Godlewski, qui jusqu'à présent sont les plus complètes qui aient été exécutées sur ce sujet.

On conçoit, en effet, que si on suppose que le volume de l'azote est invariable, ce qui doit avoir lieu pour les expériences de courte durée exécutées sur des graines déjà gonflées et en voie de germination, la diminution de volume indiquera la quantité d'oxygène prise par les graines, et si d'autre part on peut doser l'acide carbonique absorbé par la potasse, on aura tous les éléments nécessaires pour calculer le rapport $\frac{CO^2}{O}$. C'est ce qu'a fait M. Godlewski, en modifiant légèrement l'appareil de MM. Mayer et Wolkoff et en dosant l'acide carbonique absorbé par la potasse à l'aide d'une dissolution étendue de chlorure de baryum, qui précipite le carbonate de potasse formé, tandis que la baryte libre déplacée par la potasse reste dissoute : on pesait le carbonate de baryte recueilli.

En appliquant cette méthode, M. Godlewski a obtenu les résultats suivants (1).

Dans la germination des graines amylacées, on observe au début de l'opération, surtout quand on augmente la pression partielle de

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 37.

l'oxygène, au moment du gonflement, que la quantité d'oxygène absorbé surpasse la quantité d'acide carbonique émise : habituellement cependant le rapport est presque égal à l'unité ; quand on opère sur des graines oléagineuses, pendant les premiers jours on observe encore que le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est égal à l'unité, ce qui semble correspondre à la combustion des hydrates de carbone, mais bientôt le rapport change et la quantité d'oxygène absorbé dépasse de beaucoup l'acide carbonique émis, pendant cette période le rapport peut être de $\frac{60}{100}$; quelques jours plus tard le rapport remonte à l'unité.

Nous verrons plus loin que ces changements qui surviennent dans le rapport de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé s'accordent très bien avec les transformations que subissent les principes immédiats contenus dans la graine.

Résumé. — Les notions acquises dans les paragraphes précédents nous montrent que des graines humides séjournant dans une atmosphère limitée :

1° Absorbent de l'oxygène, et que si le poids des graines est considérable par rapport au volume d'oxygène de l'atmosphère ambiante, l'absorption de ce gaz peut être complète ;

2° Que les graines en germination dégagent de l'acide carbonique ;

3° Que les rapports entre l'acide carbonique émis et l'oxygène absorbé sont variables ; voisins de l'unité pour les graines amylacées, ils sont à certaines périodes de la germination des graines oléagineuses très inférieurs à l'unité.

La germination est donc un véritable phénomène de combustion, naturellement accompagné d'un dégagement de chaleur notable ; il suffit, en effet, de laisser des graines humides entassées, pour constater un échauffement, parfois très préjudiciable à la qualité de la graine.

Ce dégagement de chaleur, l'émission d'acide carbonique constatée, impliquent que pendant la germination la graine se brûle, perd du carbone et on conçoit dès lors, qu'à la méthode indirecte que nous avons suivie jusqu'à présent, nous puissions substituer un procédé direct accusant les changements de poids et de composition que subit la graine elle-même.

Cette méthode implique la connaissance des procédés analytiques

à l'aide desquels on détermine la composition élémentaire et la composition immédiate des organes en évolution, ces procédés sont exposés dans le paragraphe suivant.

MÉTHODES ANALYTIQUES.

§ 6. — Dosage du carbone et de l'hydrogène.

Tout le monde sait que ce dosage a lieu en brûlant la matière organique et en pesant l'acide carbonique et l'eau provenant de sa combustion ; l'azote est dosé dans une autre opération qui sera décrite plus loin, il en est de même pour le dosage des cendres, l'oxygène enfin est dosé par différence.

Nous avons adopté au Muséum le mode de combustion suivant (fig. 9) ; un tube de verre de Bohême conservé de toute sa longueur, parfaitement sec et propre, est étiré à l'une de ses extrémités et reçoit un tube en caoutchouc très court qui le relie au tube à acide sulfurique K destiné à retenir l'eau, puis aux tubes Maquenne, garnis de potasse dissoute L et en morceaux M qui absorbent l'acide carbonique (1).

Le tube renferme : 1° une colonne de cuivre réduit par l'hydrogène ; 2° une colonne d'oxyde de cuivre en grains ; 3° la nacelle de platine G renfermant la matière à brûler qui a été desséchée à l'étuve jusqu'à ce qu'elle ne perde plus de poids ; le tube est assez long pour qu'un décimètre environ reste en dehors de la grille ; l'extrémité libre porte un bon bouchon, puis des boules D renfermant une goutte de mercure, qui indiquent le mouvement des gaz et empêchent les reflux.

La combustion a lieu, soit dans un courant d'air, soit dans l'oxygène, fournis l'un par une trompe à eau, l'autre par un gazomètre ; pour assurer la purification complète des gaz, on leur fait traverser d'abord un grand flacon à potasse A puis une éprouvette à ponce sulfurique B et enfin un système de tubes conjugués C renfermant les uns de la potasse, les autres du chlorure de calcium, qui une fois bien montés durent indéfiniment.

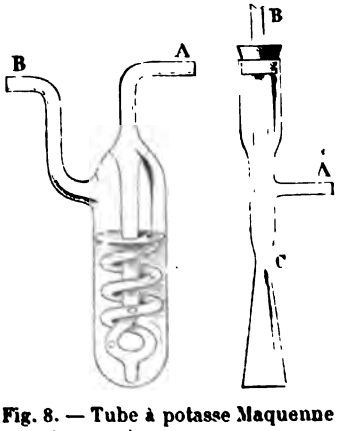


Fig. 8. — Tube à potasse Maquenne et trompe à eau ou a vapeur.

On n'entoure de clinquant que la partie

(1) Le tube à serpentin intérieur représenté dans la figure 8 ne pèse avec sa potasse que 40 grammes, il n'est donc pas plus lourd que les boules de Liebig généralement employées.

On évite les bouchons susceptibles de changer de poids dans l'opération, en employant des tubes entièrement en verre qui se terminent par des tubes MN de petit diamètre soudés au tube en U destiné à recevoir la potasse en morceaux. Le remplissage a lieu par la partie inférieure à laquelle est soudé un tube très court, ouvert quand le tube est neuf ; après le remplissage ce tube est bouché a la lampe et ne laisse qu'un petit renflement visible sur la figure 9.

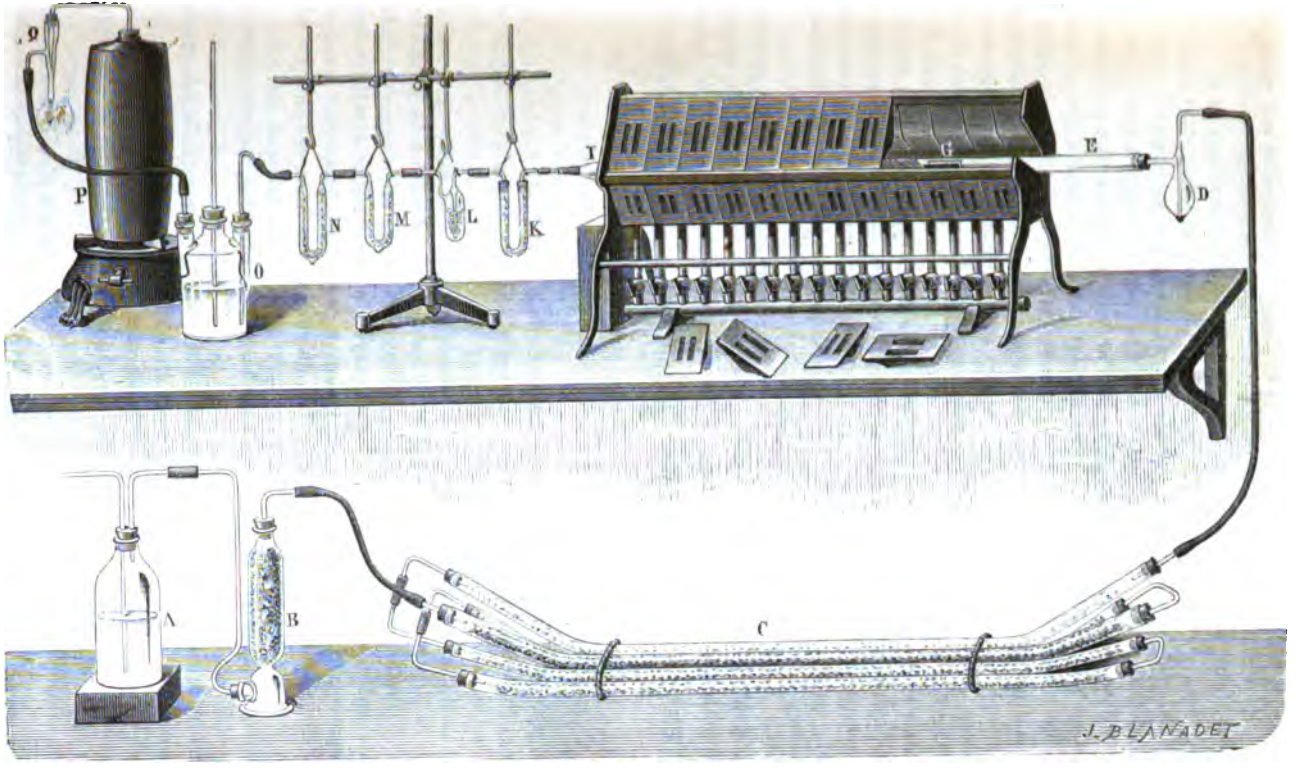


Fig. 9. — Appareil employé au Muséum pour le dosage du carbone et de l'hydrogène.

du tube renfermant le cuivre et l'oxyde; la nacelle G reste visible et on peut y suivre les progrès de la combustion.

Pour éviter que la pression de l'air ou de l'oxygène n'augmente dans l'intérieur du tube, il est avantageux de provoquer une aspiration des gaz à l'aide d'une trompe à eau ou à vapeur (fig. 9). Dans la figure ci-jointe, cette aspiration est déterminée par un jet de vapeur fourni par la grosse bouteille de fer qui termine l'appareil. Cette aspiration doit être réglée de façon que la pression des gaz dans le tube soit autant que possible égale à la pression atmosphérique.

Il n'est pas besoin d'insister sur les réactions bien connues qui se produisent dans ce tube, la matière organique se brûle au contact de l'oxygène et la plus grande partie de son carbone se transforme en acide carbonique, son hydrogène en eau; cependant la matière peut émettre des hydrogènes carbonés ou de l'oxyde de carbone, mais ces gaz brûlent complètement en passant sur l'oxyde de cuivre rouge de feu. Si la matière est azotée, elle donne parfois en se brûlant des composés oxygénés de l'azote, qui en se dissolvant dans l'acide sulfurique destiné à recueillir l'eau donneraient un nombre inexact pour l'hydrogène. C'est pour décomposer complètement ces oxydes d'azote qu'on place dans le tube du cuivre réduit; au rouge il s'empare de leur oxygène et met en liberté de l'azote pur qui s'échappe.

L'augmentation de poids du tube à acide sulfurique donne l'eau provenant de la combustion, en divisant ce nombre par 9 on a le poids de l'hydrogène; l'augmentation de poids du tube L (fig. 9) et des tubes à potasse et à chaux sodée MN donne l'acide carbonique, en multipliant par $\frac{6}{22}$ on a le poids du carbone.

§ 7. — Dosage de l'azote.

Méthode de la chaux sodée. — Ce procédé, d'un emploi très facile et très sûr, ne donne des nombres rigoureux que lorsque la matière à analyser ne renferme pas de nitrates.

Il repose sur ce fait démontré par l'expérience, qu'une matière organique azotée, chauffée au contact de la chaux sodée, dégage tout l'azote qu'elle renferme à l'état d'ammoniaque. Celle-ci, recueillie dans un volume déterminé d'acide sulfurique titré, est dosée au moyen d'une liqueur alcalimétrique.

On prépare la chaux sodée en éteignant 2 parties de chaux vive au moyen d'une dissolution concentrée de 1 partie de soude caustique, chauffant le mélange dans un creuset à une bonne température rouge, laissant refroidir, et enfermant dans un flacon à l'émeri la matière dure, verdâtre, à moitié vitrifiée, qui résulte de la calcination.

L'acide sulfurique titré est préparé à l'aide de 49 grammes d'acide préalablement bouilli et refroidi sous une cloche où a séjourné de la chaux vive; on mêle l'acide à de l'eau distillée, de façon à former un litre. En prenant les équivalents par rapport à l'hydrogène = 1, on voit facilement que 49 représente un demi-équivalent d'acide $SO^2\,H^2O$.

10 centimètres cubes de cette liqueur renferment $0^{gr},49$ d'acide sulfurique, qui sont neutralisés par un poids de gaz ammoniac représenté par le nombre $0^{gr},17$. En effet $Az = 14$; $H^3 = 3$. Si donc après avoir chauffé un certain poids de la matière à analyser avec de la chaux sodée, et avoir recueilli dans 10 cen-

timètres cubes de l'acide précédent tout le gaz ammoniac dégagé, on trouvait que l'acide est parfaitement neutralisé et qu'il n'y a pas d'ammoniaque en excès, que la liqueur laisse sans changement le tournesol vineux, on en pourrait conclure que le poids de la matière étudiée renferme $0^{gr},14$ d'azote; mais très habituellement les choses ne se passent pas ainsi, et l'on prend un poids de matière à analyser assez faible, pour qu'à la fin de l'opération il reste encore une partie de l'acide libre.

Si l'on détermine rigoureusement cette partie d'acide non saturé, on pourra en réduire celle qui est saturée, et par suite l'ammoniaque dégagée. Pour faire cette détermination on emploie une liqueur alcaline, une dissolution étendue de soude, ou mieux de l'eau de chaux, qu'on *titre* exactement. Cette opération s'exécute en plaçant dans un vase à fond plat ou en verre, posé sur une feuille de papier blanc, 10 centimètres cubes d'acide sulfurique titré, ajoutant 1 centimètre cube de tournesol étendu, puis faisant couler goutte à goutte la dissolution alcaline contenue dans une pipette graduée en desserrant peu à peu la pince P qui oblitère le caoutchouc et le ferme hermétiquement.

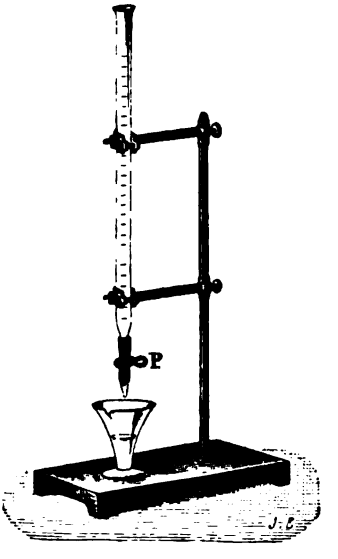


Fig. 10. — Pipette graduée.

On continue à faire couler le liquide en ayant soin d'agiter constamment avec une baguette de verre jusqu'au moment où la teinte est franchement bleue.

On lit alors sur la burette graduée le nombre de divisions employées, et on l'écrit sur une étiquette qui est fixée au flacon qui renferme la dissolution. Cette opération n'a plus besoin que d'être répétée de loin en loin, pour s'assurer que le titre n'a pas changé; et il ne change pas si l'on a la précaution de puiser dans le flacon la liqueur à l'aide d'une pipette fixée dans le bouchon et qui sert à remplir la burette.

Indiquons maintenant comment on procède au dosage.

On ferme à une extrémité un tube de verre vert de 30 à 40 centim. de long; on l'essuie, à l'intérieur, à l'aide d'un morceau de papier fixé à l'extrémité d'une baguette ou d'une tige de laiton; puis on y fait couler, au moyen d'une main de cuivre, un mélange de chaux sodée et d'acide oxalique préalablement desséché à 100 degrés. Ce mélange dégage à la fin de l'opération de l'hydrogène (1), dont le courant chasse du tube les dernières traces d'ammoniaque. Une courte colonne de chaux sodée est placée au-dessus du mélange qui renferme l'acide oxalique, puis on introduit la matière à analyser mélangée à la chaux sodée.

Le poids de matière bien sèche à analyser doit contenir moins de $0^{gr},14$ d'azote, c'est-à-dire que si c'est une matière albuminoïde renfermant 16 pour 100 d'azote, il doit être inférieur à 1 gramme; mais si c'est une matière végé-

(1) $$C^2H^2O^4 + 4(NaHO) = 2(CO^2Na^2) + 2H^2O + 2H.$$

tale renfermant 10 à 15 pour 100 de *matière azotée*, on pourra, sans inconvénient, employer 2 ou 3 grammes. Les matières très pauvres, comme les pailles, devront même être prises en plus grande quantité, mais alors il faudra employer un tube de 70 à 80 centimètres de long.

On achève de remplir le tube avec de la chaux sodée; on place à l'extrémité du verre pilé, lavé, puis séché, ou un tampon d'amiante; puis on adapte un bouchon de liège et l'on enroule sur le tube une feuille de clinquant recuit,

Fig. 11. — Tube enveloppé de clinquant pour le dosage de l'azote.

pour l'empêcher de se déformer sous l'influence du feu. Le clinquant étant maintenu à l'aide d'un fil de laiton, on enlève le bouchon ordinaire, on le remplace par un bouchon qui porte le petit appareil à boules désigné dans les laboratoires sous le nom de *boules de Warrentrapp;* on y fait couler 10 centimètres cubes d'acide sulfurique titré, et l'on place le tube sur la grille à analyse, comme le montre la figure 12.

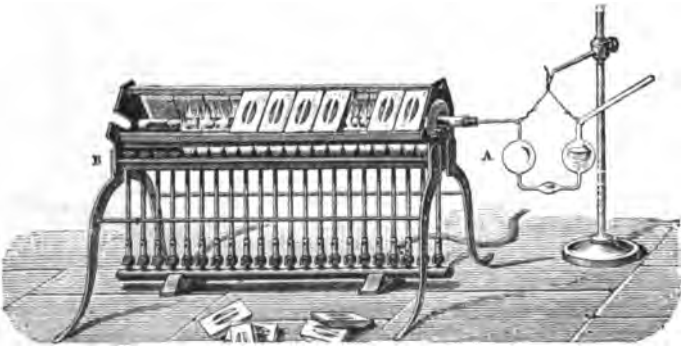


Fig. 12. — Dosage de l'azote par la chaux sodée.

Dans presque tous les laboratoires on emploie aujourd'hui, pour chauffer, le gaz d'éclairage. Il arrive à l'appareil par un caoutchouc et se distribue dans une série de tubes verticaux munis de robinets et de gaines métalliques. Celles-ci portent un orifice mobile qui, placé en face d'une ouverture pratiquée dans chacun des brûleurs, y laisse pénétrer de l'air; c'est alors un mélange de gaz et d'air qui brûle à l'extrémité du tube, et la température est très élevée. Si au contraire on tourne la gaine de façon à empêcher l'air de se mêler au gaz, on n'a plus qu'une flamme moins chaude, qui sert à porter doucement le tube à la température rouge, qu'il doit acquérir, pour que la décomposition de la matière organique soit complète.

On commence à chauffer le tube par l'extrémité A voisine du bouchon. On ouvre successivement les becs de gaz, de façon à porter au rouge tout le tube; mais il faut conduire le feu assez lentement pour que les bulles se succèdent régulièrement et ne soulèvent pas tumultueusement le liquide, car un déga-

gement rapide entraînerait infailliblement la perte d'un peu d'ammoniaque. A la fin de l'opération, on chauffe le mélange d'acide oxalique et de chaux sodée; on obtient ainsi un dégagement d'hydrogène qui balaye le tube complètement et chasse devant lui toutes les vapeurs ammoniacales dans l'acide sulfurique.

Quand le tube est entièrement porté au rouge et qu'il ne dégage plus de gaz, on le casse près du bouchon, en lançant, à l'aide d'une pipette, quelques gouttes d'eau sur le verre. On détache les boules de Warrentrapp, et l'on verse dans un vase à précipité le liquide qu'elles contiennent, et ayant bien soin de n'en perdre aucune goutte. On lave à deux ou trois reprises différentes, jusqu'à ce que l'eau de lavage n'ait plus la moindre réaction acide; on ajoute un centimètre cube de tournesol, puis on procède à la neutralisation avec la dissolution alcaline titrée. Si pendant l'opération l'acide sulfurique s'est coloré, il faut le saturer par un excès de soude et distiller comme on le fait dans le procédé Kjeldahl.

Supposons que $32^{cc},5$ de celle-ci soient nécessaires pour neutraliser les 10 centimètres cubes d'acide sulfurique normal, et que dans l'expérience que nous venons de terminer, le tournesol bleuisse quand on aura ajouté 13 centimètres cubes. Il est clair que l'ammoniaque sortie du tube a produit le même effet, équivaut à : $32,5 - 13 = 19^{cc},5$ de la dissolution alcaline. Or, $32^{cc},5$ de la dissolution de soude neutralisaient 10 centimètres cubes d'acide sulfurique comme $0^{gr},17$ d'ammoniaque; ils *équivalaient* donc à $0^{gr},17$ d'ammoniaque, et nous pourrons poser la proportion $\frac{32,5}{0,17} = \frac{19,5}{x}$. D'où l'on voit que $x = \frac{19,5 \times 0,17}{32,5} = 0^{gr},101$ d'ammoniaque renfermant $\frac{0,101 \times 0,14}{0,17}$ d'azote, la matière contenait $0^{gr},084$ d'azote.

Ce procédé est très exact, et conduit à des résultats très satisfaisants pour apprécier la quantité de matière albuminoïde contenue dans les végétaux. Il faut cependant, pour qu'il donne des indications précises, que ces principes immédiats soient seulement ceux qui renferment 16 p. 100 d'azote, comme l'albumine ou la fibrine; car il est clair que si ces principes sont mélangés à d'autres matières azotées, on arriverait à des résultats complètement fautifs, en calculant leur poids comme ceux des matières précédentes, d'après la formule $x = \frac{100\,a}{16}$, a étant le poids d'azote trouvé.

Procédé Kjeldahl. — Cette méthode présente ce grand avantage qu'on peut mener de front plusieurs analyses.

Le principe sur lequel elle repose est le suivant : transformation de l'azote organique en azote ammoniacal au moyen de l'acide sulfurique additionné soit de sulfate de cuivre déshydraté, soit d'oxyde rouge de mercure, soit plutôt de mercure métallique, ajoutés dès le commencement; on distille ensuite le liquide avec une lessive de soude libre de toute trace de carbonate, obtenue par l'ébullition avec de la baryte hydratée; le dosage de l'ammoniaque se fait à la manière habituelle à l'aide d'acide sulfurique titré.

Si la matière à analyser renferme des nitrates, ce qui est très rare dans les graines, il faut commencer par les détruire en chauffant la prise d'essai avec du protochlorure de fer et de l'acide chlorhydrique, qui transforme l'acide

azotique en bioxyde d'azote; cette première opération peut se faire dans le ballon même qui sert à l'attaque.

Celle-ci a lieu dans des ballons de 200 à 250 centimètres cubes; on y introduit de 0gr,5 à 1 gramme de la matière à analyser et l'on y ajoute 1 gramme environ de mercure métallique ou 2 à 3 grammes de sulfate de cuivre desséché en poudre, puis on verse sur le tout 20 centimètres cubes d'acide sulfurique pur et monohydraté.

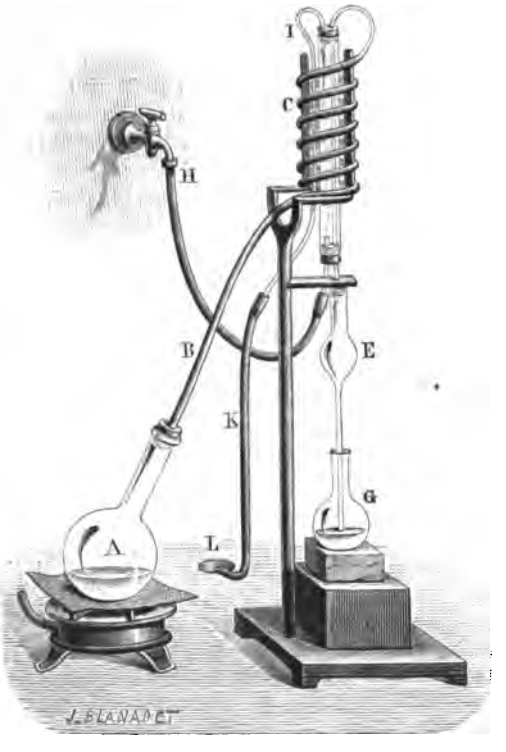


Fig. 13. — Serpentin métallique ascendant pour le dosage d'azote par le procédé Kjeldahl.

On commence par chauffer doucement, puis plus fort; on maintient l'ébullition jusqu'à ce que le liquide soit devenu tout à fait limpide. Il n'est pas nécessaire que la décoloration de l'acide soit complète, mais la limpidité doit être parfaite. Une demi-heure ou trois quarts d'heure d'ébullition sont en général suffisants pour la transformation intégrale de l'azote en ammoniaque. Les ballons sont placés inclinés sur un support de toile métallique. On peut mettre dans le goulot de ces ballons une petite boule de verre qui empêche d'une part une évaporation trop forte de l'acide, et de l'autre toute perte de matière par projection.

Le liquide étant devenu tout à fait clair à froid, on ajoute avec précaution un peu d'eau, puis une plus grande quantité jusqu'à ce qu'on ait mis 100 centimètres cubes.

On agite convenablement, afin de faire dissoudre complètement le sel de mercure qui a pu rester au fond et l'on transvase dans le ballon de distillation en lavant à diverses reprises.

Les ballons de distillation A sont d'une contenance d'un litre.

On ajoute au liquide de la lessive de soude en quantité telle, qu'elle soit en excès sur l'acide sulfurique. On a ainsi 200 à 250 centimètres cubes de liquide final. Il convient de mettre en outre 3 ou 4 centimètres cubes d'une solution saturée de sulfure de sodium destinée à éliminer le mercure à l'état de sulfure et à empêcher ainsi la formation d'une combinaison difficilement décomposable, entre le mercure et l'ammoniaque.

La saturation par la soude met l'ammoniaque en liberté; il faut se hâter d'a-

dapter le ballon à l'appareil à distiller, afin d'éviter toute perte d'ammoniaque.

Il convient en outre d'ajouter dans le liquide quelques morceaux de zinc en grenaille, pour avoir, par le dégagement d'hydrogène, une ébullition plus tranquille, on distille et l'on recueille, dans de l'acide sulfurique titré, l'ammoniaque qui se dégage. On emploie avec avantage pour cette distillation le serpentin ascendant de M. Schlœsing (fig. 13).

La vapeur sortant du ballon A dans lequel on a placé le mélange d'acide sulfurique renfermant l'ammoniaque provenant de la transformation des composés azotés de la graine et la soude en excès, pénètre dans le serpentin par la partie inférieure, la vapeur en s'élevant dans les spires se refroidit, se condense et retourne au ballon, il n'en est pas de même de l'ammoniaque peu soluble dans l'eau portée à une température élevée; il se fait donc un départ entre l'eau et l'ammoniaque, et tandis que celle-ci gagne la partie supérieure du serpentin, pénètre dans la partie refroidie par le courant d'eau HIKL et descend par le tube E dans l'acide sulfurique G où elle se dissout, la plus grande partie de l'eau retombe dans le ballon; il en résulte qu'après une ébullition d'une demi-heure, toute l'ammoniaque est concentrée dans l'acide sulfurique dont le volume n'a cependant que faiblement augmenté.

Au serpentin de verre d'abord employé, on a substitué depuis quelque temps des serpentins métalliques et on conçoit que dans les laboratoires de chimie agricole où les dosages d'azote sont nombreux, on puisse disposer toute une série de ces serpentins, de façon à conduire plusieurs dosages simultanément.

Le titrage de l'acide sulfurique qui a reçu l'ammoniaque s'exécute aisément avec de l'eau de chaux dont le titre ne change pas, si on prend la précaution de n'y laisser entrer que de l'air dépouillé d'acide carbonique par son passage au travers du flacon de potasse. Quand les dosages sont nombreux, on dispose ces appareils à demeure dans le laboratoire, la burette est liée à l'appareil et n'est jamais employée à d'autres dosages.

Dosage de l'azote à l'état gazeux. — Le procédé le plus rigoureux pour exécuter le dosage de l'azote repose sur la combustion complète de la matière organique et la mesure à l'état gazeux de l'azote qu'elle renferme; ce procédé est absolument général et convient aussi bien pour l'analyse des matières renfermant des nitrates que pour celles qui en sont privées.

Au Muséum nous opérons de la façon suivante : Un tube de verre vert est fermé à la lampe à l'une de ses extrémités, on y introduit sur une longueur de 3 ou 4 centimètres du bicarbonate de soude ou mieux du carbonate de manganèse, puis de l'oxyde de cuivre qui occupe environ 5 à 6 centimètres, on mélange ensuite la matière à analyser avec de l'oxyde de cuivre, on introduit ce mélange dans le tube, en ayant soin de placer sur la table une grande feuille de papier glacé de façon à recueillir les traces de matière, qui pourraient tomber de la main en cuivre, qui renferme le mélange à introduire dans le tube, on ajoute par-dessus de l'oxyde de cuivre, et enfin une colonne de cuivre métallique, réduit par l'hydrogène (1); celle-ci doit être d'autant plus longue que la matière à analyser renferme plus de nitrates.

(1) Il est bon de dissoudre un peu de ce cuivre dans de l'acide azotique, puis de saturer d'ammoniaque pour voir si le cuivre est pur et ne renferme pas de fer, ce dont on serait averti par l'apparition d'un précipité rouge insoluble dans un excès d'ammoniaque; si ce précipité apparaissait, il faudrait rejeter ce cuivre, car le fer

On fixe toutes ces matières avec un tampon d'amiante, elles occupent environ 80 centimètres, on laisse au tube toute sa longueur, mais on façonne l'extrémité libre à la lampe pour qu'elle ne présente plus qu'un diamètre un peu supérieur à celui du tube de plomb qui doit relier à la trompe à mercure le tube à combustion.

On entoure le tube de clinquant, puis on fixe le tube de plomb à l'aide de cire Golaz, on adapte l'autre extrémité à la trompe à mercure et on fait le vide en laissant couler le mercure ; quand celui-ci fait entendre le bruit sec, qui annonce que tout l'air du tube est expulsé, on chauffe légèrement l'extrémité du tube renfermant le bicarbonate de soude jusqu'à ce que la pression de l'acide carbonique qui s'en dégage soit devenue égale à la pression atmosphérique, on arrête l'écoulement du mercure, on place sur l'orifice du tube de la trompe une éprouvette remplie de mercure, on y introduit une dissolution de potasse concentrée et on voit si le gaz qui se dégage s'absorbe complètement.

Quand cette absorption a lieu, on est certain que tout l'appareil est bien vidé d'air et qu'il ne renferme plus que de l'acide carbonique; on réduit la flamme du bec de gaz qui chauffe le bicarbonate de soude pour avoir dans le tube une pression suffisante pour empêcher qu'il ne s'aplatisse quand il sera ramolli par l'action du feu, ce qui ne manquerait pas d'arriver, si le dégagement d'azote était insuffisant pour équilibrer la pression atmosphérique.

On chauffe au rouge toute la partie antérieure du tube, puis on ouvre les uns après les autres les becs de gaz placés sous la partie du tube qui renferme la matière à brûler, l'azote se dégage et va se réunir dans l'éprouvette.

Quand tout le tube est bien chauffé, on pousse un peu plus vite le dégagement de l'acide carbonique en ouvrant un nouveau robinet sous le bicarbonate de soude; puis on réduit le feu à son minimum, et quand le tube a cessé d'être rouge on y fait de nouveau un vide complet en actionnant la trompe.

On a sous la cloche, quand on met fin à l'expérience, tout l'azote; pour le mesurer, on descend la cloche dans une grande cuve à eau, en la soulevant légèrement de la soucoupe qui a servi à l'enlever de la cuve de la trompe, on laisse couler le mercure qui est remplacé par de l'eau; on mesure le gaz dans un grand tube gradué, on s'assure à l'aide d'un fragment de sulfate de fer qu'il ne renferme pas de bioxyde d'azote, à l'aide d'un fragment de potasse, qu'il ne contient pas d'acide carbonique, on note la température de la cuve, la pression barométrique et à l'aide de la formule connue (1) :

$$P = V\frac{(H - f)0^{gr},0013 \times 0.971}{760(1 + 0,00367t)}$$

on a le poids de l'azote cherché.

qu'il renferme réduit par la matière organique pourrait donner de l'hydrogène en décomposant la vapeur d'eau dégagée par le carbonate de soude.

(1) P = poids de l'azote.
V = volumes en cent. cubes de l'azote recueilli.
H = pression barométrique lue au moment de la mesure du gaz.
f = tension de la vapeur d'eau pour la température t.
0,00367 = coefficient de dilatation des gaz.
$0^{gr},0013$ = poids d'un centimètre cube d'air.
0,971 = densité de l'azote.

Procédé de MM. A. Gautier et Drouin. — Dans une étude récente sur les méthodes de dosage de l'azote, les auteurs ont reconnu que le procédé que nous venons de décrire est le seul qui donne des résultats absolument rigoureux après qu'on y a apporté les légères modifications suivantes :

« Dans un tube de Bohême de $1^m,15$ de longueur, dont l'extrémité fermée est tordue en crosse de fusil, on introduit successivement : 1° 15 grammes de chlorate de potasse pulvérisé avec 10 grammes d'oxyde de cuivre ; 2° quantité suffisante de carbonate de manganèse ; 3° de l'oxyde de cuivre pur, puis le mélange de la matière à analyser, avec de l'oxyde de cuivre neuf très fin ; 4° une colonne du même oxyde et $0^m,15$ de cuivre réduit pulvérulent ; chaque couche dûment séparée des autres par des tampons d'amiante. Après avoir soigneusement chassé l'air par le vide et l'acide carbonique du carbonate de manganèse, on fait la combustion comme dans les dosages d'azote ordinaires et on la termine dans un courant d'oxygène qu'on dégage du chlorate de potasse, tant que le cuivre placé dans la partie antérieure du tube n'est pas oxydé. On extrait enfin les dernières portions d'azote en réchauffant le carbonate terreux. »

§ 8. — Analyse immédiate de la graine.

Les méthodes précédentes permettent de suivre les variations que présente la composition élémentaire des graines pendant la germination, elles donnent déjà des indications précieuses ; toutefois les changements qui se manifestent dans la nature et le poids des principes immédiats présentent encore plus d'intérêt et il convient d'indiquer quelles méthodes on emploie, pour doser les principes immédiats préexistants dans les graines ou s'y développant pendant la germination.

Préparation de l'échantillon. — Les graines normales ou germées sont pesées, mises à l'étuve et desséchées, on les pèse de nouveau à la sortie de l'étuve, elles sont alors facilement réduites en poudre dans un moulin, on pèse une petite quantité de la poudre obtenue, on la place à l'étuve jusqu'à ce que son poids devienne invariable.

On déduit de cette pesée et de celle qui a été faite avant la pulvérisation, la quantité d'eau que renfermait la matière.

Dosage des cendres. — Le dosage et l'analyse des cendres s'exécute par les méthodes qui sont décrites dans le chapitre IV.

Dosage des matières grasses. — Ce dosage se pratique aisément en employant un appareil dans lequel le dissolvant passe, d'une façon continue, sur la graine réduite en poudre qu'il s'agit d'épuiser de matière grasse.

Le col d'un ballon (fig. 14) ou d'un matras à fond plat A, porte un tube de verre un peu large *b* légèrement étiré à la lampe à la partie inférieure et percé sur le côté d'un orifice *o* (1) ; on engage le tube dans un bouchon convenable pour fermer hermétiquement le col du ballon ; enfin on adapte à l'extrémité

(1) Ce tube se prépare aisément dans les laboratoires : on commence par étirer le tube, puis quand il est refroidi, on ferme l'extrémité non étirée avec un bouchon, à l'aide du chalumeau on envoie sur la paroi une flamme très fine, de façon à ramollir le verre, sur une surface de 1 centimètre de diamètre environ, quand le verre est devenu mou, on souffle énergiquement par l'orifice étiré et on détermine la formation d'une grosse bulle de verre, qu'on casse aisément, elle laisse à son origine l'orifice cherché.

libre du tube un bouchon muni d'un long tube de verre *t*. On introduit dans la partie étirée du tube *b* un tampon de coton, puis par-dessus la farine à épuiser, on verse dans le matras le dissolvant: éther ou sulfure de carbone *d* (1), et on fixe enfin le matras dans un bain-marie à l'aide d'un support.

En chauffant le bain-marie, on détermine l'ébullition du dissolvant qui passe à l'état de vapeur dans le tube par l'orifice *o*; cette vapeur se refroidit dans le tube droit, s'y condense et le liquide retombe sur la farine entraînant la matière grasse qui colore le liquide en jaune; quand, après une ou deux heures, le liquide qui s'échappe à la partie inférieure est devenu incolore, que le tampon de coton est lui-même décoloré, on éteint le gaz, on démonte l'appareil et on fait couler le liquide contenant l'huile dans une capsule, qu'on abandonne à l'évaporation spontanée; après quelques heures, on place à l'étuve, et il ne reste dans la capsule que la matière grasse, on pèse la capsule puis on jette la matière grasse, et on pèse de nouveau la capsule bien essuyée, la différence entre les deux poids donne le poids de la matière grasse.

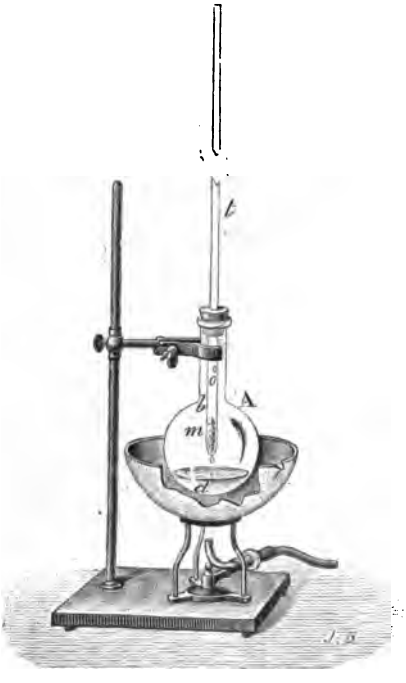


Fig. 14. — Appareil à épuisement pour le dosage des matières grasses.

Si on avait un grand nombre de dosage à exécuter simultanément, on pourrait employer l'appareil représenté par la figure 15, dans lequel la farine est placée dans des tubes étirés, munis en bas d'un tampon de coton, à la partie supérieure d'un bouchon; on verse sur les graines moulues de l'éther ou du sulfure de carbone, jusqu'à ce qu'il passe incolore, le liquide est recueilli dans les capsules, on évapore le dissolvant au bain-marie, comme le montre la figure 16. — Si le tube D est lié à un flacon débitant une quantité d'eau égale à celle qui s'évapore, l'opération peut être abandonnée à elle-même. Pendant la germination, les matières grasses se décomposent en donnant d'abord des acides gras; ceux-ci sont solubles dans l'alcool qui au contraire ne dissout pas les huiles; en employant dans l'appareil qui vient d'être décrit d'abord de l'alcool, puis ensuite de l'éther, on pourra séparer ces acides gras des huiles. Pour doser les acides gras on reprendra par l'éther, l'extrait alcoolique préalablement desséché.

Dosage des sucres. — Les graines incomplètement mûres ou qui ont com-

(1) Dans le cas où l'on fait usage du sulfure de carbone, il ne faut l'employer qu'après distillation, le sulfure de carbone du commerce renfermant presque toujours un peu de soufre dont le poids s'ajouterait à celui de la matière grasse.

mencé à germer renferment des hydrates de carbone solubles, appartenant au groupe des dextrines, des sucres réducteurs et des sucres non réducteurs; la farine épuisée de matière grasse dans l'opération précédente peut servir au dosage de ces principes, s'ils se trouvent dans la graine en proportions notables;

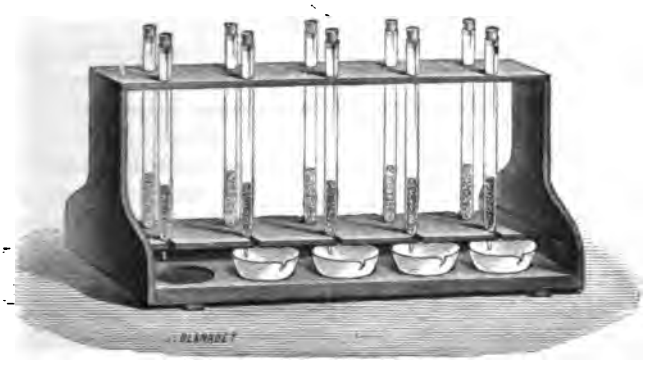


Fig. 15. — Dosage des matières grasses.

si au contraire ils n'existent qu'en faible quantité, il vaudra mieux prendre un autre échantillon d'un poids un plus fort, on l'introduira dans un tube de verre étiré et bouché par un tampon de coton et on lavera à l'eau froide, jusqu'à ce que quelques gouttes ne laissent plus de résidu à l'évaporation.

Le liquide est en général trop dilué pour qu'il ne soit pas nécessaire de le concentrer; quand il sera réduit à une trentaine de centimètres cubes, par évaporation au bain-marie dans une capsule de porcelaine, on en traitera une petite fraction par son volume d'alcool, qui généralement déterminera un précipité de dextrine impur; cet essai ne peut être que qualitatif, il permettra d'inscrire au tableau de l'analyse les mots dextrine et sucres non réducteurs sans qu'on puisse aisément les distinguer. On mesure 10 centimètres cubes du liquide rapproché, on y ajoute du sous-acétate de plomb, puis du sulfate de soude en excès, on filtre, on lave le filtre et on l'amène à 50 centimètres cubes; ce liquide est alors préparé pour le dosage des sucres et dextrines.

Fig. 16. — Dosage des matières grasses; évaporation de l'éther ou du sulfure de carbone au bain-marie.

Dosage des sucres réducteurs. Ce dosage s'exécute à l'aide de la liqueur cupropotassique; on la prépare en dissolvant à chaud 50 grammes de crème de tartre, 40 grammes de carbonate de soude dans un tiers de litre d'eau, on

ajoute ensuite dans la dissolution 20 grammes de sulfate de cuivre. On fait bouillir le mélange, on l'additionne de 40 grammes de potasse caustique dissoute dans l'eau et l'on étend la liqueur jusqu'au volume d'un litre.

La présence de l'acide tartrique dans le mélange empêche la précipitation de l'oxyde de cuivre par la potasse; mais si l'on ajoute un sucre réducteur et qu'on porte à l'ébullition, on voit la liqueur se troubler, passer au vert, au jaune, puis au rouge, et si le sucre réducteur a été employé en quantité suffisante, la liqueur se décolore complètement en abandonnant un précipité rouge d'oxydule de cuivre. Le sucre s'est brûlé, en empruntant à l'oxyde de cuivre la moitié de l'oxygène qu'il renferme.

Pour titrer cette liqueur, souvent désignée dans les laboratoires sous les noms de liqueur de Bareswill ou encore de liqueur de Felhing, on pèse 1 gramme de sucre de canne pur et sec, et on le dissout dans quelques centimètres cubes d'eau, on ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique et on porte à l'ébullition, le sucre de canne se métamorphose en sucre réducteur, on sature l'acide chlorhydrique par quelques centimètres cubes de dissolution de potasse et on étend à 100 centimètres cubes avec de l'eau distillée.

Il est manifeste que 100 centimètres cubes renfermant 1 gramme de sucre de canne, 1 centimètre cube renfermera $0^{gr},01$ et un dixième de centimètre cube : $0^{gr},001$, correspondant à $0^{gr},00105$ de sucre réducteur (1).

Le liquide sucré ainsi préparé sert à titrer la liqueur cupropotassique. Pour exécuter cette opération, on verse dans un petit ballon 10 centimètres cubes de liqueur cupropotassique; dans une burette graduée le liquide sucré et on le fait couler goutte à goutte dans la liqueur cupropotassique maintenue à l'ébullition. Elle se trouble peu à peu par suite de l'apparition du précipité d'oxydule, qui, d'abord jaune, devient bientôt d'un rouge vif et se rassemble au fond du ballon. C'est seulement quand la liqueur est complètement décolorée qu'on cesse de verser. On lit alors sur la burette, le nombre de divisions employées et l'on inscrit ce nombre sur le flacon renfermant la liqueur cupropotassique. Supposons, pour fixer les idées, qu'il ait fallu $22^{cc},5$ de dissolution sucrée, pour décolorer 10 centimètres cubes de liqueur cupropotassique, nous en conclurons qu'il faudra $0^{gr},225$ de sucre de canne ou $\frac{0,225 \times 105}{100} = 0,236$ de sucre réducteur pour décolorer 10 centimètres cubes de liqueur bleue. C'est ce nombre qu'on écrit sur le flacon renfermant la liqueur cupro-potassique. Il est bon de fermer le flacon avec un bouchon traversé par l'extrémité d'une pipette graduée à 10 centimètres cubes qui y est fixée à demeure. La liqueur bleue s'altère à la lumière, il faut la conserver dans une armoire obscure.

Cette liqueur étant titrée, on procède au dosage des sucres réducteurs, en versant le liquide purifié, ainsi qu'il a été dit plus haut, dans une burette graduée, puis en le faisant couler goutte à goutte dans 10 centimètres cubes de liqueur bleue jusqu'à décoloration complète, quand celle-ci s'est produite, on lit le nombre de divisions employées, on sait que ce nombre de divisions ren-

(1) Le sucre de canne ou saccharose $C^{12}H^{22}O^{11} = 342$ se décompose sous l'influence des acides avec fixation d'eau en $2(C^6H^{12}O^6) = 360$; les matières sont donc entre elles dans le rapport de $\frac{360}{342} = 1,05$.

ferme $0^{gr},236$ de sucre réducteur, d'où on déduit ce que contenaient les 50 centimètres cubes du liquide provenant du lavage des graines et enfin ce que renfermaient les graines elles-mêmes.

Si le liquide ne renferme que peu de sucre réducteur, on emploie au lieu de 10 centimètres cubes de liqueur bleue: 1, 2 ou 5 centimètres cubes qu'on étend d'eau.

Dosage des sucres non réducteurs. — Le sucre de canne, la dextrine ne réduisent la liqueur cupropotassique, qu'après avoir été transformés en sucre réducteur par l'ébullition avec un acide; pour les déterminer, on prend une nouvelle quantité du liquide précédent, on y ajoute quelques gouttes d'acide chlorhydrique, on s'assure que le liquide est nettement acide, et on porte à l'ébullition, on laisse refroidir, on introduit dans la burette graduée et on fait couler la dissolution sucrée dans 10 centimètres cubes de liqueur bleue, additionnée d'un petit fragment de potasse caustique, jusqu'à ce qu'ils soient décolorés.

La décoloration est produite à la fois par le sucre réducteur primitif, et par le sucre réducteur provenant de la transformation des sucres non réducteurs et de la dextrine, le liquide sucré est donc plus concentré qu'il ne l'était d'abord, il faut en employer une moindre quantité que dans la première opération. Il est facile de déduire de ce second dosage les sucres non réducteurs.

Supposons que dans le premier dosage nous ayons trouvé que $25^{cc},8$ avaient suffi pour la décoloration: les 10 centimètres cubes de liqueur cupropotassique exigeant $0^{gr},236$ de sucre réducteur pour être réduits, les $25^{cc},8$ de liquide sucré renferment $0^{gr},236$ de sucre réducteur et les 50 centimètres cubes du liquide total en contiennent $\frac{0^{gr},236 \times 50}{25^{cc},8} = x$

x est donc le sucre réducteur.

Nous faisons un second essai avec le liquide sucré qui a subi l'ébullition avec l'acide chlorhydrique et qui renferme maintenant du sucre réducteur provenant de deux origines, celui qui préexistait, et celui qui vient de former l'acide chlorhydrique, le liquide est donc plus chargé de sucre réducteur, et nous trouvons qu'il ne faut plus que 12 centimètres cubes pour décolorer les 10 centimètres cubes de liqueur cuproprotassique; les 50 centimètres cubes de liquide primitif renferment donc $\frac{0,236 \times 50}{12} = x'$ si enfin nous retranchons x de x', la différence sera le poids de sucre réducteur obtenu par transformation des sucres non réducteurs, en multipliant le nombre trouvé par le rapport $\frac{171}{180}$ nous aurons le chiffre à porter au tableau de l'analyse si ce sucre est de la saccharose; si au contraire c'est de la dextrine, il faudra multiplier par $\frac{162}{180}$.

Dosages des gommes et *tannins.* — Il n'existe, jusqu'à présent, aucun procédé précis de dosage des matières précipitables par les acétates de plomb qu'on rencontre dans les jeunes plantes; on les fait figurer au tableau de l'analyse sous le nom de gommes et tannins, et on en apprécie la quantité par le calcul de la façon suivante: Le liquide provenant du lavage des graines renferme, outre les sucres dont nous connaissons le poids, des matières minérales so-

lubles, des matières azotées, et parfois des gommes et du tannin. Le dosage des matières azotées sera indiqué plus loin ; pour obtenir le poids des cendres, on évapore à sec au bain-marie 50 centimètres cubes du liquide, on pèse le résidu sec, et on le calcine, on trouve ainsi le poids des cendres solubles, en y ajoutant celui des sucres, celui des matières azotées déterminées comme nous le dirons plus loin, on a un nombre plus faible que celui de l'extrait sec; on porte la différence au tableau de l'analyse comme gomme et tannin; nous aurons au reste occasion dans d'autres chapitres de cet ouvrage de revenir sur le dosage de ces deux matières.

Dosage de l'amidon. — Les graines pulvérisées placées dans le tube où elles ont subi le lavage qui en a extrait les matières solubles renferment encore plusieurs matières dont il importe de déterminer le poids : ce sont la cellulose, l'amidon, la gomme de paille, la vasculose, les matières azotées et les matières minérales insolubles.

Toutes ces matières sont loin d'avoir dans les graines la même importance; la vasculose et la gomme de paille constituent les enveloppes des grains et ne sont que peu modifiées pendant la germination, nous décrirons leur dosage dans d'autres chapitres, le dosage des cendres est indiqué chapitre IV, celui des matières azotées dans les paragraphes suivants, nous pouvons donc nous borner ici au dosage de la cellulose et à celui de l'amidon.

Le dosage de l'amidon s'exécute en le transformant en sucre réducteur qu'on détermine ensuite par la liqueur cupro-potassique ; cette transformation s'exécute facilement, en maintenant à 110° de l'amidon en présence d'un acide dilué, on le saccharifie; mais quand l'amidon est en place, dans des organes renfermant de la cellulose, ce mode de dosage donne toujours des nombres trop forts, une partie de la cellulose étant elle-même transformée en sucre réducteur, aussi est-il préférable de saccharifier au moyen de la *diastase.*

Ici toutefois se présente cette difficulté que la diastase ne s'obtient pas aisément pure. Quand on veut l'extraire de la farine de malt par dissolution, puis précipitation par l'alcool pour la dissoudre de nouveau, au moment de la faire agir, on n'obtient d'ordinaire qu'une matière peu active; aussi est-il plus commode d'employer la farine de malt, mais sans essayer d'en séparer la diastase; il suffit pour utiliser cette matière au dosage de faire un extrait de farine de malt par l'eau tiède, de filtrer et de doser, par la liqueur cupro-potassique la quantité de sucre réducteur que renferme l'extrait, on saura dès lors la quantité de sucre réducteur introduite dans l'analyse, et au moment des calculs, cette quantité sera soustraite de celle qu'on trouvera dans le liquide contenant le sucre provenant de l'amidon.

On pourra donc opérer de la façon suivante : la poudre de graine déjà dépouillée des matières grasses et des sucres réducteurs est desséchée à l'étuve, on en pèse 1 ou 2 grammes, qu'on met dans un ballon avec 90 centimètres cubes d'eau et 10 centimètres cubes d'extrait de farine de malt, on maintient au bain d'eau de 40 à 50° pendant deux heures, on décante alors une fraction du liquide, qu'on introduit dans la burette graduée et on dose les sucres formés avec la liqueur cupro-potassique; avant d'inscrire le nombre trouvé au tableau de l'analyse, il est bon de remettre le liquide auquel on ajoute ce qui reste dans la burette, au bain d'eau pendant une heure, pour s'assurer que la saccharification est complète.

Le sucre réducteur obtenu est d'abord diminué de celui qui a été introduit avec la farine de malt, puis transformé en amidon en multipliant le chiffre trouvé à l'aide de la liqueur, titrée au sucre de canne, par $\frac{160}{171}$.

On a proposé, dans ces derniers temps, une autre méthode : elle consiste à introduire la matière renfermant l'amidon dans un tube de verre vert étranglé, d'y ajouter de l'eau, de sceller le tube à la lampe, puis de chauffer au bain d'huile ou de paraffine de 140 à 150° pendant trois ou quatre heures. On laisse refroidir, on casse le tube, on réunit dans un ballon toute la matière qu'il renferme et on filtre; l'amidon est devenu soluble, on n'a qu'à chauffer le liquide avec de l'acide chlorhydrique dilué, puis à doser le sucre réducteur formé par la liqueur cupropotassique.

Dosage de la cellulose. — On y emploie 1 gramme de la matière épuisée de sucres réducteurs et de matière grasse, qu'on immerge dans un petit flacon avec un excès de liqueur bleue cupro-ammonique souvent désignée dans les laboratoires sous le nom de liqueur de Schweitzer.

Cette liqueur est préparée en employant le procédé suivant dû à Peligot : on dissout dans l'eau du sulfate de cuivre ammoniacal, on ajoute à la liqueur de la potasse, on a un précipité bleu qu'on lave, puis qu'on redissout dans l'ammoniaque ; c'est ce liquide qui sert à dissoudre la cellulose.

Après quelques jours, on filtre sur du coton de verre, on lave le coton et on sature le liquide par de l'acide chlorhydrique, la cellulose se précipite, on la recueille sur un petit filtre taré et pesé, on sèche et on pèse de nouveau ; il est bon de brûler le filtre et de peser les cendres, si leur poids excède celui qu'on trouve habituellement pour les cendres d'un petit filtre, c'est-à-dire 1 ou 2 milligrammes, on défalquera le poids de ces cendres du poids de la cellulose porté au tableau de l'analyse.

Dosage des albuminoïdes et des amides. — Les matières albuminoïdes qui existent dans les graines renferment environ 16 p. 100 d'azote, de telle sorte que si on pouvait croire que tout l'azote dosé par les procédés que nous avons décrits plus haut, provient des matières albuminoïdes, on n'aurait qu'à multiplier le chiffre obtenu par 6,25 pour en déduire les matières azotées; s'il en est ainsi dans les graines des végétaux usuels restées à l'état normal, il en est tout autrement dans les racines, les tubercules, etc., et surtout dans les graines germées; tous ces organes renferment outre les matières protéiques à 6,25 d'azote, des substances fort diverses de l'ordre des amides et dont on peut prendre pour type : l'asparagine.

La séparation de ces diverses matières azotées les unes des autres est particulièrement délicate, elle a beaucoup exercé la sagacité des analystes (1), et ne s'exécute encore que d'une façon fort incomplète; voici cependant le procédé qu'on peut employer. La matière végétale réduite en poudre fine est traitée par l'eau tiède, celle-ci laisse à l'état insoluble, la plus grande partie des matières albuminoïdes, mais en dissout cependant une partie en même temps que les amides ; on ajoute à l'extrait une petite quantité d'alun pour précipiter les phosphates alcalins, puis on porte à l'ébullition et on ajoute de l'hy-

(1) Voyez notamment les mémoires de MM. Schulz et Barbieri, *Ann. agron.*, t. VII, p. 422 et de M. Schulze, *Ann. agron.*, t. XIII, p. 41.

drate d'oxyde de cuivre qui précipite les albuminoïdes solubles ; on recueille ce précipité sur un filtre, on le dessèche, on le mêle au résidu de l'action de l'eau chaude et on y dose l'azote.

En multipliant le chiffre trouvé par 6,25 on a les albuminoïdes.

En retranchant de l'azote total, celui des albuminoïdes, on aura l'azote des amides, si la matière ne contient ni ammoniaque, ni acide azotique, ce qui est le cas pour les graines; et en multipliant le nombre trouvé pour l'azote des amides, obtenu en faisant la différence entre l'azote total et celui des albuminoïdes, par 10,71, on aura le poids des amides évalué en asparagine.

Cette matière est au reste dosée directement par plusieurs méthodes différentes.

Dosage de l'asparagine. — On a proposé de dissoudre par l'eau l'asparagine contenue dans les organes végétaux, puis d'en séparer l'azote à l'état gazeux au moyen de l'hypobromite de soude; on déduit le poids de l'asparagine du volume de l'azote recueilli.

Des essais exécutés par cette méthode au laboratoire de physiologie du Muséum par M. F. Meunier (1) n'ayant conduit qu'à des résultats divergents, on a préféré employer le procédé suivant :

La matière broyée, séchée et pesée est introduite dans un petit sachet en toile, à mailles très serrées, ayant pour but de retenir l'amidon transformé en empois ; on introduit le tout dans une capsule de porcelaine et on épuise par l'eau bouillante ; on filtre et on précipite les matières albuminoïdes par le sous-acétate de plomb, la leucine est précipitée en même temps; on filtre de nouveau et on se débarrasse de l'excès de sous-acétate de plomb par le bicarbonate de soude. Dans le liquide clair, provenant de la filtration du carbonate de plomb, on ajoute de la potasse caustique, puis on distille en opérant comme pour un dosage d'ammoniaque. On sait, en effet, que l'asparagine décomposée par la potasse donne de l'acide aspartique qui se combine à l'alcali, tandis que la moitié de l'azote se dégage sous forme d'ammoniaque

$$C^4H^8Az^2O^3 + 2(KOH) = C^4H^5AzO^4K^2 + AzH^3.$$

L'ammoniaque dégagée est reçue dans de l'acide sulfurique titré et on procède au dosage à la façon habituelle. Le poids de l'azote trouvé, multiplié par le coefficient 10,711, donne l'asparagine.

§ 9. — Des modifications qui surviennent dans la graine pendant la germination.

Les notions analytiques que nous venons d'acquérir nous permettent d'aborder l'étude des graines elles-mêmes, placées dans des conditions telles qu'elles entrent en germination.

Gonflement. — Le premier point qui nous frappe aussitôt que nous soumettons les graines vivantes à l'action de l'humidité est leur augmentation de volume; elle est si apparente que cette pre-

(1) *Ann. agron.*, t. VI, p. 275.

mière phase est désignée sous le nom de gonflement. Le pouvoir osmotique des matières qui constituent la graine est considérable ; l'eau traverse les membranes extérieures, s'unit à l'albumen, dont l'augmentation de volume détermine souvent la déchirure des enveloppes: le fait est particulièrement visible sur le haricot.

Si on a l'imprudence de remplir de graines un vase de verre, puis qu'on humecte celles-ci, elles éprouvent une dilatation suffisante pour que le vase soit bientôt brisé.

La combustion interne qui accompagne la germination se manifeste aussitôt que la graine est gonflée ; les modifications que la graine subit doivent être étudiées d'abord par l'analyse élémentaire, ensuite par l'analyse immédiate.

Perte de poids des graines pendant la germination. — Elle est très facile à constater : on met à germer dans l'obscurité, sur du papier humide, des graines préalablement pesées ; on détermine en même temps la proportion d'eau que renferment des graines semblables à celles qu'on a mises en expérience, de façon à pouvoir calculer exactement le poids de leur matière sèche.

Après quelques jours, si la température est convenable, on ne tarde pas à voir apparaître les radicelles, qui sortent des enveloppes ; bientôt une petite tigelle se montre à son tour, blanche, veule, se dirigeant vers la lumière, si celle-ci ne fait pas absolument défaut ; quand l'expérience s'est prolongée de dix à quinze jours, que les cotylédons commencent à se rider, annonçant qu'ils ont perdu une partie de la matière qu'ils renfermaient d'abord, on rassemble les jeunes plantules encore adhérentes à leurs cotylédons, on dessèche et on pèse ; on constate une diminution de poids considérable.

Pour savoir sur quels éléments elle a porté, on procède à l'analyse élémentaire, d'une part : de graines semblables à celles qu'on a mises en expériences, de l'autre : des graines germées avec leurs radicelles et leurs tigelles.

Analyse élémentaire des graines normales et germées. — Ces analyses ont été exécutées par Boussingault ; nous résumons, dans le tableau ci-joint, les nombres auxquels il est arrivé ; dans tous les cas, les pertes de poids sont notables ; elles varient naturellement avec le temps qu'a duré l'expérience.

Ces pertes ont porté seulement sur du carbone, de l'oxygène et de l'hydrogène ; la proportion de l'azote n'a pas sensiblement changé, non plus que celle des matières minérales.

Composition élémentaire de graines et de plants développés dans l'obscurité.

NATURE DES PLANTES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	NATURE DES ORGANES.	POIDS TOTAL.	CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.	AZOTE.	MATIERES MINÉRALES.
			gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Pois	5 mars-1 juillet	Graines	2.237	1.040	0.137	0.897	0.094	0.069
		Plants	1.076	0.473	0.065	0.397	0.072	0.069
		Différences	1.161	0.567	0.072	0.500	0.022	0.000
Froment	5 mai-25 juin	Graines	1.665	0.758	0.095	0.718	0.057	0.038
		Plants	0.713	0.293	0.043	0.282	0.057	0.038
		Différences	0.952	0.465	0.052	0.436	0.000	0.000
Maïs géant	2 juin-22 juin	Graines	0.5292	0.2355	0.0337	0.2420	0.0086	0.0096
		Plants	0.2900	0.1448	0.0195	0.1070	0.0085	0.0100
		Différences	0.2392	0.0907	0.0142	0.1350	0.0001	0.0004
Haricots	22 juin-22 juillet	Graines	0.926	0.4082	0.0563	0.3747	0.0413	0.0456
		Plants	0.566	0.2484	0.0331	0.1981	0.0408	0.0456
		Différences	0.360	0.1598	0.0232	0.1766	0.0005	0.0000

Pendant la germination, les graines diminuent de poids; c'est ce qu'il était facile de déduire de l'analyse de l'atmosphère séjournant au contact des graines en évolution; l'acide carbonique contenu dans cette atmosphère renfermant du carbone emprunté à la graine elle-même, la diminution du poids de la matière sèche est nécessaire.

Nous avons reconnu également, que si on cherche dans quels rapports se trouvent l'acide carbonique émis et l'oxygène absorbé pendant la germination des graines amylacées, on obtient un rapport voisin de 1 ; l'acide carbonique renfermant un volume d'oxygène égal au sien, il faut que l'oxygène disparu de l'atmosphère ambiante soit entièrement employé à métamorphoser le carbone en acide carbonique, qu'aucune part ne soit faite à la combustion de l'hydrogène, et comme celui-ci disparaît de la graine en germination, sa disparition doit entraîner celle d'une quantité d'oxygène suffisante pour constituer de l'eau; or, si on compare les nombres donnés par M. Boussingault, pour représenter les pertes d'oxygène constatées, aux quantités d'oxygène nécessaires pour former de l'eau avec l'hydrogène disparu, on trouve les nombres suivants :

	Hydrogène disparu pendant la germination.	Oxygène disparu pendant la germination.	Oxygène nécessaire pour former de l'eau avec l'hydrogène disparu.	Différences.
	milligr.	milligr.	milligr.	
Pois	72	500	576	+ 76
Froment	52	436	416	— 20
Maïs géant....	14	135	112	— 23
Haricot	33	176	184	+ 8

On voit que les différences sont minimes, et qu'avec une approximation suffisante on pourra considérer la perte de poids des graines amylacées comme représentée :

1° Par de l'eau;

2° Par du carbone;

ce dernier étant amené à l'état d'acide carbonique par l'oxygène provenant de l'atmosphère.

Modifications qui surviennent pendant la germination dans la composition immédiate de la graine. — Il nous faut maintenant pénétrer plus avant, et voir quelles sont les modifications que subissent les principes immédiats contenus dans les graines.

Si toutes les graines renferment des matières azotées voisines les unes des autres, elles peuvent être partagées, quant aux matières

ternaires qu'elles contiennent, en deux grands groupes : les graines amylacées caractérisées par la présence de l'amidon, et les graines oléagineuses qui renferment des matières grasses; cette distinction n'est pas, au reste, absolue, car il arrive souvent que des graines amylacées contiennent des matières grasses en quantité assez notable, pour qu'il y ait intérêt à les extraire.

Tel est le cas, notamment, pour les graines de maïs employées souvent à la fabrication de l'alcool; le résidu épuisé d'amidon soumis à la pression, abandonne une huile qui se prête à divers usages industriels.

Graines amylacées. — Boussingault a soumis à l'analyse des graines de maïs, puis des jeunes plants développés dans l'obscurité, de façon à ne pas compliquer les phénomènes de germination de ceux qui se produisent quand les plantes assimilent à la lumière.

Nous reproduisons une de ces analyses :

Composition immédiate de graines et de plants de maïs développés dans l'obscurité.

	POIDS TOTAL.	AMIDON ET DEXTRINE.	GLUCOSE.	HUILE.	CELLULOSE.	MATIÈRES AZOTÉES.	MATIÈRES MINÉRALES.	SUBSTANCES INDÉTERMINÉES.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Graines.....	8.526	6.386	»	0.463	0.516	0.880	0.156	0.235
Plants.....	4.419	0.777	0.953	0.150	1.316	0.880	0.156	0.297
Différences..	—4.107	—5.609	+0.953	—0.313	+0.800	0.000	0.000	+0.062

L'analyse précédente nous enseigne que la perte subie pendant la germination porte particulièrement sur l'amidon et sur l'huile.

Nous trouvons, au contraire, que deux principes, la glycose et la cellulose, ont augmenté; et il convient d'insister sur leur apparition, qui caractérise les phénomènes de germination.

La graine renferme un embryon destiné à reproduire la jeune plante; dans un haricot, par exemple, on distingue, logées entre les deux cotylédons, la radicelle et les folioles; pour que la plante se développe, il faut que cette radicelle s'allonge, perce les enveloppes et s'enfonce dans la terre; il faut qu'elle s'accroisse; il faut, de même, que la tigelle grandisse, s'élève au-dessus du sol, et

s'épanouisse à la lumière; pour que ces deux organes, l'un souterrain, l'autre aérien, puissent accomplir leur mission, il faut qu'ils s'allongent, par suite qu'ils trouvent autour d'eux assez de matière pour fournir à leur première croissance. Cette matière elle est à leur portée, accumulée, entassée dans les cotylédons gorgés d'amidon, comme dans le blé ou le haricot, d'huile dans le colza et le ricin; mais une condition manque pour que ces matières soient utilisées : elles sont insolubles, et ne serviront qu'autant que, métamorphosées en principes solubles, elles pourront se diffuser au travers des membranes des jeunes organes, y pénétrer et, revêtant une nouvelle forme, s'y incorporer.

Les réserves des cotylédons doivent donc subir deux métamorphoses successives, d'abord être solubilisées pour se diffuser, pénétrer dans les jeunes organes, et là se transformer en matériaux d'accroissement de la plantule.

Dans la première métamorphose, l'amidon devient sucre réducteur, sous l'influence d'un ferment spécial, la diastase; c'est elle qui, aidée par la réaction acide qui apparaît dans toute la masse, corrode, dissout, digère l'amidon qu'on voit disparaître, tandis qu'apparaît une proportion sensible de principes solubles, dextrine et maltose (1), utilisés par les brasseurs, qui déterminent la germination de l'orge précisément pour y faire apparaître les principes solubles qu'ils mettront bientôt en fermentation. Si la réserve renferme des sucres non réducteurs (lupin) (2) ou du synanthrose (composées), il s'y fait, au lieu de diastase, un ferment analogue, l'invertine, qui détermine la formation des sucres réducteurs. Il arrive, parfois, que l'amidon, avant de passer à l'état de sucre réducteur, fournisse du sucre de canne; c'est au moins ce qu'a observé M. Gotthold Kuhnemann dans l'orge ou le blé germés (3). Ce sont ces hydrates de carbone solubles qui se diffusent au travers des tissus de la plantule, y pénètrent, et y subissent une nouvelle métamorphose en cellulose, dont le mécanisme est encore inconnu.

L'analyse de Boussingault indique très bien cette disparition de l'amidon, l'apparition du sucre réducteur qu'il appelle glycose sans le définir autrement, et enfin l'augmentation de la cellulose.

Ces métamorphoses sont, d'après Muller (Turgovie) (4), favorisées

(1) Voyez dans le chapitre VII le paragraphe consacré aux sucres réducteurs.
(2) *Ann. agr.*, t. XV, p. 383.
(3) *Ann. agr.*, t. II, p. 291.
(4) *Ann. agr.*, t. XII, p. 481.

par la présence de l'acide carbonique, qui exalte l'action de la diastase; elles le sont également par l'élévation de température, et on conçoit qu'il soit avantageux, pour la plante, qu'une partie de l'énorme réserve que renferment les cotylédons se brûle en produisant de l'acide carbonique, pour que cette combustion mette en jeu l'énergie qui favorise ces réactions.

On a cru pendant longtemps que les parois des cellules persistaient pendant la germination et ne pouvaient pas être considérées comme matériaux de réserve analogues à l'amidon. M. Reiss a montré récemment que cette manière de voir doit être abandonnée (1) et que dans un certain nombre de graines les parois très épaissies de l'albumen sont constituées par une véritable *cellulose de réserve*. En pratiquant des coupes dans des graines d'asperge en germination, on reconnaît que toute la partie mitoyenne entre deux cellules et la lamelle interne qui confine au protoplasma se dissout. Chez les *allium* les choses se passent d'une matière analogue, à cela près, que la paroi épaissie est traversée par d'innombrables canicules très fins que l'auteur appelle des canaux de corrosion.

Cette cellulose de réserve est différente de la cellulose ordinaire, car soumise à l'action de l'acide sulfurique, au lieu de donner des dextrines, ayant le pouvoir rotatoire à droite comme leur nom l'indique, elle dévie à gauche le plan de la lumière polarisée, la matière ainsi obtenue, la *seminine*, donne par l'action prolongée des acides un sucre réducteur, la *seminose* fermentescible et dextrogyre.

Transformation des matières grasses. — Si on se borne à déterminer dans les graines oléagineuses la matière grasse, au moment où on les met en germination, puis quelques jours plus tard, quand de nouveaux organes ont déjà apparu, on constate que la matière grasse diminue et que les produits cellulosiques augmentent; cette transformation finale de la matière grasse se produit toutefois par étapes successives; sous l'influence d'une diastase non encore déterminée, la matière grasse commence par se réduire en glycérine et en acides gras : M. Muntz a reconnu que pendant la germination du colza, du pavot, du radis, les acides gras finissent par remplacer complètement les huiles neutres.

Ces acides gras s'oxydent ensuite et donnent des hydrates de carbone; ils ne le peuvent faire qu'en fixant une quantité notable

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 478. Voyez aussi un résumé très complet de ce travail dans *Annales de l'Institut Pasteur*, 1890.

d'oxygène, c'est à cette époque de la germination, que M. Godlewski constate que la quantité d'oxygène absorbé par les graines surpasse beaucoup l'acide carbonique émis, le rapport étant à ce moment comme nous l'avons vu $\frac{60}{100}$.

La disparition de la matière grasse pendant la germination du ricin a été étudiée par M. Fleury (1).

Les graines présentaient la composition suivante :

Eau	6.18
Matières minérales	3.10
— azotées	20.20
Sucre et corps analogues (pas d'amidon)	2.21
Matières grasses et résineuses	46.60
Cellulose	17.99
Substances indéterminées	3.72
	100.00

Pendant la germination, on a observé les transformations suivantes :

Époques à partir du début.	Matières grasses.	Sucre et analogues.	Cellulose.	Matières azotées.
Début	46.60	2.21	17.99	20.20
6 jours	45.90	»	»	»
11 —	41.63	»	»	»
16 —	33.15	9.95	»	»
21 —	7.90	18.47	»	»
26 —	10.3	17.72	»	»
31 —	10.28	26.90	29.99	20.31

Expériences du docteur Peters. — Le docteur Ed. Peters (cité par M. Sachs, *Phys. végét.*, p. 390) a publié un travail analytique important sur la germination de la courge. Il fit germer les graines dans la sciure de bois, afin de les nettoyer plus facilement, et les examina à trois périodes distinctes.

I. Lorsque les racines principales étaient longues de 2 à 5 centimètres, mais n'avaient pas encore produit de racines secondaires, l'axe hypocotylé était encore très court, et les cotylédons enfermés dans le testa.

II. Lorsque les cinq ou six premières racines secondaires avaient 2 à 3 centimètres de longueur, l'axe hypocotylé commençait à s'allonger et les cotylédons devenaient verts à la base.

III. Lorsque les cotylédons bien épanouis étaient d'un beau vert, tout le système des racines du germe était développé ; l'axe hypo-

(1) *Ann. de ch. et de phys.*, 4e série, t. IV, p. 5.

cotylé avait atteint sa longueur finale, et la première feuille commençait à s'épanouir. La dernière période de développement se faisait sous l'influence de la lumière.

Les pertes pendant la végétation représentent :

1re période	0.43 p. 100 du poids de la graine.	
2e —	11.20	—
3e —	21.80	—

Composition de 100 parties de la graine et du germe du *Cucurbita pepo*, d'après Peters (1).

PARTIES CONSTITUTIVES.	GRAINE ENTIÈRE.	1re PÉRIODE.			2e PÉRIODE.			3e PÉRIODE.		
		COTYLÉDONS.	AXE hypocotylé.	RACINE.	COTYLÉDONS.	AXE hypocotylé.	RACINE.	COTYLÉDONS.	AXE hypocotylé.	RACINE.
Huile.....	49.51	40.48	6.36	4.83	26.40	3.93	3.10	7.20	2.68	2.83
Sucre.....	traces.	0.84	6.64	8.86	3.42	5.84	6.96	6.40	6.84	2.74
Gomme.....	traces.	0.82	2.23	2.16	1.22	2.10	3.28	2.94	2.88	2.29
Amidon.....	0	3.10	5.60	3.80	7.00	7.62	8.21	3.28	2.92	2.12
Cellulose....	3.02	2.79	8.77	12.05	3.50	10.13	16.42	7.80	12.40	17.92
Mat. albuminoïdes.....	39.88	39.88	39.50	40.26	40.26	39.88	38.87	43.93	43.17	43.87
Cendres.....	5.10	4.90	9.99	8.08	5.36	10.75	8.20	7.75	11.06	9.20
Principes indéterminés.	2.49	7.29	20.91	19.96	12.84	19.75	14.96	20.70	18.05	19.03

M. Laskowski (2) dans un travail étendu sur la germination de la graine de potiron arrive à des résultats analogues à ceux de M. Peters, nous extrayons de ses tableaux d'analyses les chiffres suivants, correspondant à des graines normales et à des graines dont la germination était au contraire assez avancée.

	Graines normales.	Graines en germination.
Matières grasses.....	52.16	33.54
Sucre.....	0.50	1.32
Dextrine.....	0.93	2.61
Amidon	traces.	2.02
Cellulose	0.93	3.54
Matières azotées.....	39.56	38.06
Cendres	3.05	3.14
Matières non dosées.....	2.87	15.77
	100.00	100.00

(1) Dans toutes ces analyses, le testa est enlevé; le résultat ne s'applique qu'à l'embryon et au germe.

(2) *Ann. agron.*, t. I, p. 49.

On peut donc considérer comme un fait acquis que la germination des graines oléagineuses comporte la série des réactions suivantes :

Dédoublement de la matière grasse en acides gras et en glycérine.

Oxydation de ces acides gras et production d'hydrates de carbone solubles.

Transformation de ces hydrates de carbone solubles en produits insolubles servant à constituer les cellules et les vaisseaux de la jeune plante.

Transformation des matières azotées. — Les matières azotées contenues dans les graines ne sont pas toutes identiques, il est facile par exemple de distinguer le gluten contenu dans le blé, de la légumine que renferment les haricots ou les pois, mais ces substances sont cependant assez voisines les unes des autres, pour qu'il n'y ait pas lieu d'étudier séparément les transformations qu'elles subissent pendant la germination.

Ces transformations présentent d'abord, avec celles des matières carbonées, cette différence essentielle, que le poids d'azote contenu dans la graine normale et dans la graine germée reste sensiblement constant; tandis qu'au contraire nous avons vu que le poids du carbone diminue considérablement pendant la germination.

La métamorphose capitale que subissent les matières azotées est leur passage de l'état colloïdal, non dialysable, qu'elles affectent dans les graines, à l'état cristalloïde et diffusible. De même que l'amidon insoluble ne pourrait pas passer au travers des membranes des cellules et arriver à la radicelle ou à la tigelle pour s'y métamorphoser en cellulose, et qu'il faut pour être utilisé qu'il prenne cette forme de voyage, cette forme transitoire sous laquelle il apparaît à l'état de maltose et de dextrine, de même l'albumine soluble, la légumine également soluble, mais l'une et l'autre colloïdales, le gluten insoluble ne peuvent émigrer qu'en prenant une forme nouvelle. Cette forme n'est pas unique, mais la plus fréquente est l'asparagine. Cette matière se rencontre dans les graines germées en quantités suffisantes pour qu'on puisse l'en extraire à l'état cristallisé.

C'est ainsi que M. Boussingault a obtenu, de 200 grammes de haricots germés dans l'obscurité, $5^{gr},40$ d'asparagine cristallisée.

Des recherches importantes ont été exécutées depuis cette épo-

que sur la formation de l'asparagine dans les graines germées ; d'une façon générale on remarque qu'elle est plus abondante dans les graines qui, maintenues dans l'obscurité, donnent des plantes étiolées, que dans les jeunes pousses devenues vertes par exposition à la lumière.

C'est notamment ce qui résulte d'un travail de M. Mercadante (1), qui a obtenu les résultats suivants :

Longueur de l'axe.	Asparagine p. 100 de matière sèche.	
	Obscurité.	Lumière.
	Phaseolus vulgaris.	
0m,08	3gr,57	3gr,92
0 ,10	2 ,46	»
0 ,15	»	2 ,29
0 ,20	»	traces.
0 ,25	2 ,15	»
	Lupinus luteus.	
0 ,08	15 ,25	14 ,42
0 ,015	12 ,30	traces.

En employant le procédé décrit plus haut (page 40) M. F. Meunier a constaté les quantités d'asparagine suivantes, dans 100 parties de matière sèche (2).

Nombre de jours de germination.	Haricots d'Espagne.	
	Obscurité.	Lumière.
13 jours	1.13	1.18
18 —	2.28	2.25
38 —	5.18	1.41

Expériences de M. Schulze. — Il résulte, en outre, d'un travail important de M. Schulze, sur la décomposition des matières albuminoïdes pendant la germination des lupins, que l'asparagine n'est pas le seul produit de cette décomposition (3).

Dans le tableau suivant, on a calculé les quantités de matières albuminoïdes contenues dans des graines non encore germées et dans des graines germées dans l'obscurité à une température de 18 à 20 degrés.

Pour 100 de matière sèche, il y avait dans :

(1) Cité par M. Capus dans un résumé sur le rôle physiologique de l'asparagine, *Ann. agron.*, t. V, p. 583.
(2) *Ann. agr.*, t. VI.
(3) *Ann. agr.*, t. V, p. 153.

	Matières albuminoïdes.	Azote.
Graines non germées	51.00	8.16
— ayant germé 4 jours	44.44	7.11
— — 7 —	31.88	5.10
— — 12 —	16.00	2.56
— — 15 —	11.56	1.85

Quand, d'après ces données, on veut calculer la diminution qu'ont éprouvée les matières albuminoïdes pendant la germination, il faut tenir compte des rapports de poids qui existent entre les graines germées et les graines non germées. Cette diminution est inscrite dans le tableau suivant :

Dans les graines ayant germé pendant :	Diminution des matières albuminoïdes calculée p. 100 de matière sèche.	Diminution des matières albuminoïdes calculée p. 100 de la quantité des mat. albuminoïdes primitives.
4 jours	9.09	17.8
7 —	23.14	45.4
12 —	37.93	74.4
15 —	42.02	82.1

Le produit principal de cette décomposition dans les graines germées est l'asparagine. Elle s'accroît régulièrement à mesure que la germination se prolonge :

Durée de la germination.	Température.	100 grammes de substance sèche des graines germées contiennent asparagine.	Pour 100 gr. de substance sèche des graines non germées, il s'est formé asparagine.
4 jours.....	18°,20	3.13	3.12
7 —	»	11.2	9.78
10 —	20°,22	17.3	15.24
12 —	18°,20	22.3	18.22
15 —	»	25.0	19.43
16 —	»	25.7	»

Dans aucun cas l'asparagine dosée ne renferme intégralement l'azote des matières albuminoïdes disparues ; M. Schulze pense qu'il se produit, en même temps que l'asparagine, des acides amidés, de la leucine et parfois de la tyrosine, enfin de petites quantités d'ammoniaque.

On voit, dans le tableau suivant, comment se répartit entre ces différentes matières l'azote des albuminoïdes décomposées.

DURÉE de la GERMINATION.	PERTES en MATIÈRES ALBUMINOÏDES.		AZOTE DES PRODUITS DE LA DÉCOMPOSITION DES ALBUMINOÏDES.			QUANTITÉ D'AZOTE retrouvé dans les produits de la décomposition.
		Azote.	Dans l'asparagine.	Dans les acides amidés.	Dans l'ammoniaque.	
10 jours...	38.00	6.08	3.22	1.17	0.32	81.7 p. 100.
12 — ...	36.13	5.78	3.86	0.96	0.26	83.5 —

L'azote de la matière azotée disparue ne se retrouve donc pas intégralement dans l'asparagine, les acides amidés et dans l'ammoniaque.

D'après M. Schulze, les acides amidés auraient, dans la reconstitution des matières albuminoïdes de la jeune plante, un rôle aussi important sinon plus que l'asparagine elle-même.

Il semble résulter d'un travail de M. Gorup Besanez sur la germination des graines de vesce, que ces métamorphoses des albuminoïdes en peptones sont dues à l'action d'un ferment soluble. L'auteur a extrait, en effet, de ces graines une matière azotée et sulfurée, qui non seulement dissout l'amidon et l'amène à l'état de sucre réducteur, mais en outre agit sur la fibrine du sang pour la fluidifier et la métamorphoser en peptone (1). Cette expérience rapproche encore davantage les phénomènes chimiques de la germination, de ceux qui se produisent dans l'estomac des animaux, et c'est avec raison qu'on peut dire qu'aidé par diverses diastases, l'embryon digère les réserves de l'albumen.

§ 10. — Influence des matières minérales sur le développement de la jeune plante.

Quand on incinère de jeunes plantes encore en voie de germination, c'est-à-dire qui n'ont pas encore complètement vidé leurs cotylédons et qu'on compare la quantité de cendres qu'elles contiennent à celle que renfermait la graine, on reconnaît que la proportion des matières minérales a considérablement augmenté.

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 633.

Pendant la première période de la vie, l'assimilation des matières minérales est tellement active, qu'elle vient compenser partiellement la perte de poids due à la combustion lente qui accompagne la germination.

Ainsi, cent pieds de blé bien développés, pris dans un champ au mois de décembre, pesaient 2^{gr},790, et renfermaient 0^{gr},360 de cendres, tandis que les cent grains dont ils provenaient pesaient 4^{gr},075, mais ne laissaient que 0^{gr},075 de cendres; pendant la première partie de la vie, le blé avait perdu 1^{gr},765 de matière organique, mais gagné, pendant le même temps, 0^{gr},285 de matière minérale.

Cette assimilation de manière minérale est-elle fortuite, ou bien, au contraire, a-t-elle une influence décisive sur l'évolution de la jeune plante? Telle est la question que nous devons examiner dans ce paragraphe.

L'éminent physiologiste autrichien, M. J. Bœhm, a recherché l'influence des matières minérales dans la germination du haricot d'Espagne; il a reconnu que lorsque les jeunes plantes étaient enracinées dans de l'eau distillée, leur développement s'arrêtait rapidement, et qu'elles ne tardaient pas à périr sans pouvoir utiliser les réserves contenues dans les cotylédons; tandis que, au contraire, l'évolution se produisait normalement quand les plantes étaient enracinées dans de l'eau de fontaine, qui renferme toujours en dissolution des sels de chaux (1).

Des expériences synthétiques qu'exécuta M. Bœhm, il put tirer les conclusions suivantes :

« Les jeunes plantes de *Phaseolus multiflori*, élevées dans l'eau distillée, meurent tôt ou tard, toujours avant l'emploi de la totalité des matières de réserve; la tige se flétrit et se fane au-dessous du bourgeon terminal. Différents sels calcaires (sauf le chlorure) empêchent cet accident. La chaux ne peut être remplacée par aucune autre base; le carbonate de magnésie est positivement vénéneux. »

Appuyant sur les conséquences de ces expériences, M. Bœhm ajoute : « Dans la transformation des matériaux organiques en matières constitutives du corps de la plante, la chaux joue un rôle tout aussi important que dans la transformation du cartilage en os. »

Cette question intéressante fut reprise plus tard au Muséum (2); on a reconnu, comme M. Bœhm, que les jeunes plantes enra-

(1) *Ann. agronom.*, t. I, p. 470.
(2) *Ann. agronom.*, t. IX, p. 58. Influence des matières minérales dans la germination, par MM. Dehérain et Bréal.

cinées dans l'eau absorbaient, avec une extrême énergie, les matières minérales dissoutes, et que, de toutes ces substances, les sels de chaux étaient les plus favorables; en effet, des graines mises à germer dans de l'eau de fontaine évoluent normalement à la température ordinaire, tandis qu'elles ne se développent que très mal dans l'eau distillée. L'influence heureuse des sels de chaux est particulièrement sensible sur le développement de la racine.

Cependant, si, habituellement, il est difficile de voir développer des jeunes plantes enracinées dans l'eau distillée, en répétant ces expériences à diverses époques de l'année, on n'obtient pas toujours les mêmes résultats; tandis qu'au printemps le blé enraciné dans l'eau distillée formait de si faibles racines, que le poids de la jeune tige entraînait souvent la chute des plantes, mises à germer entre des baguettes de verre; au mois de juillet, on obtint un résultat différent : le développement se produisit normalement, les racines s'allongèrent aussi bien dans l'eau distillée que dans l'eau ordinaire.

On fut pendant quelque temps avant de pénétrer la cause de cette diversité de résultats, mais en réfléchissant à l'influence qu'exerce l'élévation de la température sur la germination, on eut l'idée que peut-être, pendant les chaleurs de l'été, l'évolution des graines avait pu se produire, bien que l'absence des matières minérales étrangères leur fût défavorable; et en effet, en plaçant des graines de blé ou de haricots dans l'eau distillée, mais en les maintenant à une température de 30 à 35°, on obtint une évolution complète. L'expérience fut particulièrement décisive sur un haricot enraciné dans l'eau distillée, et maintenu dans une étuve chauffée à 35° : le développement fut normal, bien que les nouveaux organes ne renfermassent pas une trace de chaux; elle était restée tout entière dans les cotylédons encore incomplètement vidés.

Ainsi, bien que la présence de la chaux dans l'eau où plongent les racines soit avantageuse, on ne peut pas dire que cette base soit nécessaire à la formation des organes nouveaux.

M. Von Liebenberg (1) a entrepris également une série d'expériences intéressantes sur l'influence des matières minérales sur la germination. Il conclut de ses recherches qu'il existe des graines d'une structure incomplète ne renfermant pas toutes les matières

(1) *Ann. agronom.*, t. IX, p. 127.

nécessaires à leur développement, et donne une liste des plantes pour lesquelles il croit la chaux indispensable; mais comme il ne fait nulle mention de l'influence décisive de la température à laquelle les opérations ont eu lieu, il est probable que cette liste devra être revisée.

Quoi qu'il en soit, on peut déduire avec certitude, des recherches précédentes, que la composition minérale des graines n'est pas telle qu'elles puissent normalement évoluer aux températures ordinaires, sans aucun secours étranger; mais il faut reconnaître, en outre, que les substances minérales qu'elles renferment sont celles qu'elles auraient le plus de peine à rencontrer en quantités suffisantes, tandis que celles qui font défaut sont précisément les matières les plus abondamment répandues dans le sol. Dans la lutte pour la vie qui s'établit dans le monde végétal, des graines renfermant de l'acide phosphorique et de la potasse, mais manquant de chaux, ont une supériorité incontestable sur des germes qui renfermeraient de la chaux, mais auxquels manqueraient l'acide phosphorique et la potasse; aussi ne rencontre-t-on aucune graine dans laquelle ces deux éléments fassent défaut; s'il a existé des espèces qui en ont été privées, il est probable qu'elles ont été rapidement éliminées par les espèces pourvues des éléments plus difficiles à trouver abondamment dans le sol.

On ne saurait admettre, au reste, que toutes les matières minérales contenues dans les végétaux présentent pour leur évolution le même intérêt; on a souvent réussi à élever des plantes, en les privant d'un ou plusieurs des éléments qu'elles contiennent habituellement en proportions considérables; et récemment M. V. Jodin a pu faire vivre des maïs, et les faire fructifier dans des dissolutions privées de silice. La grande abondance des matières minérales dans les jeunes plantes paraît être due tout simplement à la prédominance, à cette époque de la vie, de la racine sur les organes foliacés; tous les principes qui viennent du sol, matières azotées et matières minérales, abondent, tandis que plus tard, quand la fonction chlorophyllienne qui engendre les hydrates de carbone a pris tout son développement, elle prédomine à son tour, et bien que l'assimilation des matières minérales continue de se produire, elle est moins active que l'élaboration des substances organiques; aussi la proportion centésimale des cendres va-t-elle rapidement en diminuant (1).

(1) *Ann. agronom.*, t. VII, p. 161. Recherches sur la maturation de quelques plantes herbacées, par MM. Dehérain et Bréal.

Résumé des phénomènes de germination. — La graine est essentiellement formée d'un embryon et de réserves alimentaires, qui doivent lui fournir les matériaux nécessaires à son développement; quand les conditions d'aération, d'humidité, de température indiquées plus haut sont remplies, la graine sort de la vie latente pour passer à la vie active, et les réserves se dissolvent peu à peu; leur rôle a été mis en lumière par des expériences d'une rare élégance, dues à M. Van Tieghem, qui a réussi à remplacer les aliments contenus dans les organes qui entourent l'embryon, par des pâtes formées soit par la matière même que contenaient ces organes, soit par des matières analogues.

La succession des phénomènes qui se produit dans la graine peut être résumée en quelques lignes :

La graine mise au contact de l'eau et de l'air, à une température convenable, absorbe de l'eau et de l'oxygène; elle augmente de volume, se gonfle.

L'oxygène agit sur les principes de la graine et les brûle; de l'acide carbonique apparaît; cette combustion porte sur les hydrates de carbone, dont une partie disparaît complètement; sur les matières grasses qui se saponifient, s'oxydent, donnent des hydrates de carbone, entraînés bientôt dans le cycle des métamorphoses qu'ils subissent dans les graines amylacées, sur les matières azotées, qui se transforment en amides cristalloïdes, notamment en asparagine.

Il est probable que la chaleur dégagée par la combustion lente favorise la métamorphose des principes immédiats.

Cette série de métamorphoses est produite par l'influence de diastases, dont quelques-unes seulement sont connues. Elle a essentiellement pour but la *digestion* des réserves, la transformation des substances insolubles et colloïdales de la graine en matières solubles et cristalloïdes.

Tous les produits devenus solubles, susceptibles, sous leur nouvelle forme, de se dialyser aisément, sont employés à la formation d'organes nouveaux; sous leur nouvelle forme (forme de voyage), ils s'acheminent, suivant les lois de la diffusion, vers les points où les organes nouveaux apparaissent et subissent une nouvelle transformation; amenés à l'état de cellulose, paracellulose, vasculose, cutose, ils forment les tissus des nouveaux organes : racines, tigelles, feuilles, à l'aide desquels la plante va pouvoir vivre aux dépens du monde extérieur. La période de germination cesse, celle d'assimilation commence.

§ 11. — Évolution des tubercules et des bulbes.

Plusieurs des plantes de grande culture, notamment les pommes de terre, les topinambours; parmi les plantes d'ornement, les dahlias, les cannas se reproduisent à l'aide des tubercules.

Le choix de la variété n'est pas moins important que pour les graines; en préconisant comme pomme de terre industrielle la *Richter's Imperator*, M. Aimé Girard a rendu un véritable service, puisqu'en substituant cette variété à celle qu'on cultive habituellement, on réussit à obtenir de 30 à 40 tonnes de tubercules dans les terres fertiles, de 15 à 20 dans les sols pauvres, au lieu de rester à 15 ou 18,000 kilogrammes dans le premier, ou 8 à 10 dans le second.

De nombreuses expériences ont établi qu'il est avantageux, pour obtenir de forts rendements, d'employer comme semenceaux des tubercules moyens, et particulièrement quand on cultive la Richter's Imperator, de les planter entiers.

Bien que les tubercules diffèrent essentiellement des graines, les matériaux de réserve y sont analogues et les conditions nécessaires à l'évolution, identiques à celles qui déterminent la germination. Dans les tubercules de pommes de terre existe une matière, la fécule, qui, sauf la dimension des grains, est exactement la même substance que l'amidon des graines; dans les dahlias et les topinambours la fécule est remplacée par un autre hydrate de carbone, l'inuline, qui joue dans la germination le même rôle que la matière amylacée.

De même que l'oxygène, l'humidité, une légère élévation de température, sont nécessaires à l'évolution de la graine, de même, ces conditions sont aussi celles qu'exige le passage des tubercules de la vie latente à la vie active; il est à remarquer en outre que la quantité d'eau contenue dans les tubercules étant beaucoup plus considérable que celle qu'on trouve dans les graines, il arrive très souvent que les pommes de terre germent dans les silos aussitôt que la température s'élève (1).

Germination des pommes de terre. — Les transformations que

(1) M. Schribaux a reconnu qu'en plongeant pendant quelque temps les tubercules de pommes de terre dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique, on les privait de leur faculté germinatrice et par suite on assurait leur conservation (*Bulletin de la Société nationale d'agriculture*, 1890).

subissent les tubercules de pommes de terre ont été l'objet d'un grand nombre de travaux ; l'un des plus complets est dû à M. Kellermann (1). L'auteur a suivi la végétation des pommes de terre pendant quatorze semaines ; il a soumis à l'analyse les vieux tubercules qui se vident peu à peu pour donner naissance aux plantes nouvelles. Les analyses ont conduit aux dosages suivants, que nous reproduisons intégralement ; les chiffres indiquent en grammes les poids des matières contenues dans 1000 plantes.

Modifications survenues dans les vieux tubercules de pommes de terre pendant quatorze semaines.

MATIÈRES DOSÉES.	1re SEMAINE.	2e SEMAINE.	3e SEMAINE.	4e SEMAINE.	5e SEMAINE.	8e SEMAINE.	9e SEMAINE.	14e SEMAINE.
Matière sèche...	9160.4	8412.7	8062.7	7494.3	5027.8	2202.3	1707.7	1343.8
Cellulose.....	222.1	230.0	240.8	216.0	214.3	214.3	216.6	276.0
Azote.....	86.7	86.6	79.9	74.7	48.9	24.3	19.0	15.8
Protéine.....	542.0	541.6	499.4	467.0	306.0	152.0	120.0	98.0
Matières grasses.	30.2	49.6	39.2	26.4	23.5	22.2	23.1	22.0
M. extr. non azotées (fécule)....	8004.0	7208.7	6926.4	6475.0	4236.0	1594.9	1275.0	820.0
Cendres.....	361.0	363.0	357.0	319.0	246.6	189.0	173.0	126.0
Chaux.....	4.2	5.0	6.5	10.3	12.8	20.5	22.2	24.9
A.phosphorique.	48.7	48.2	46.5	32.2	30.8	13.8	10.3	8.7
Potasse.....	228.2	224.0	212.0	201.0	145.0	77.8	67.2	37.0

Le poids de matière sèche diminue très rapidement à partir de la huitième semaine ; au moment où se terminent les observations, les vieux tubercules sont ridés, vidés et ne vont pas tarder à devenir la proie des organismes inférieurs qui déterminent leur combustion complète.

La cellulose que nous avons vu être utilisée dans quelques graines comme matière de réserve résiste dans les vieux tubercules ; son poids est même à la fin supérieur à ce qu'il était d'abord. C'est surtout la fécule qui est employée à la formation des organes nouveaux, sa disparition toutefois n'est pas régulière, elle est beaucoup plus rapide à partir de la cinquième semaine, qu'elle ne l'avait été auparavant ; c'est aussi à ce moment que la matière azotée émigre le plus rapidement.

Les matières grasses résistent ; après quatorze semaines on en

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 615.

trouve dans les vieux tubercules un poids qui n'est guère inférieur à celui qu'on avait trouvé à l'origine.

Les cendres ont diminué des deux tiers; tandis que la plus grande partie de l'acide phosphorique et de la potasse ont émigré, la chaux au contraire a augmenté, elle se rencontre dans les vieux tubercules à l'état d'oxalate de chaux; c'est certainement la sécrétion de cet acide qui détermine son augmentation.

Les formes de voyage de la fécule paraissent être la dextrine et la dextrose, mais l'albumine contenue dans les tubercules ne fournit pas de l'asparagine comme nous l'avons vu dans les graines en germination, mais bien de la *solanine*.

Cette matière est vénéneuse, elle est surtout abondante dans les jeunes pousses de pommes de terre, de telle sorte que lorsqu'on emploie au printemps à la nourriture des porcs des tubercules qui ont germé en silos, il est utile de les débarrasser de ces germes qui exerceraient une influence fâcheuse sur les animaux.

Germination des topinambours. — Si nous savons que les topinambours comme les dalhias ne renferment plus comme matière de réserve de l'amidon, mais bien une matière soluble dans l'eau, l'inuline; si nous savons en outre que cette matière donne aisément, sous l'influence des acides, un sucre réducteur, la lévulose; il ne semble pas qu'on ait encore étudié d'une façon complète les transformations que subit l'inuline pendant la germination, ni qu'on ait isolé les diastases qui entrent en jeu pendant l'évolution de ces tubercules (1).

Germination des bulbes. — Les bulbes de certaines plantes renferment une quantité suffisante de matériaux de réserve pour donner naissance, non seulement à des racines, à des tiges, mais encore à des fleurs, sans emprunter au monde extérieur autre chose que de l'eau; telles sont notamment les *jacinthes* si employées pour orner les appartements au printemps.

Si on fait évoluer ces bulbes dans une atmosphère limitée, on observe toute une série de phénomènes analogues à ceux qui se produisent pendant la germination des graines (2). Saint-André, qui s'est occupé de cette question, a trouvé que les bulbes absorbaient de l'oxygène, émettaient de l'acide carbonique, comme les graines en germination, et il est probable que les phénomènes qui accompagnent l'évolution des bulbes sont très analogues à ceux

(1) *Ann. agron.*, t. V, p. 470.
(2) *Ann. agron.*, t. IV, p. 306.

qu'on observe dans le développement des bourgeons dont il nous reste à parler.

§ 12. — Évolution des bourgeons.

Dans les plantes vivaces, les réserves nécessaires à la formation des organes nouveaux sont logées dans le bois d'où elles émigrent au retour de la belle saison.

Quand on procède à des coupes dans du bois pendant l'hiver on y trouve même dans des couches ligneuses âgées d'un certain nombre d'années des dépôts de fécule; A. Gris a trouvé dans un frêne de quarante ans, dans un bouleau de trente-cinq ans, des réserves amylacées jusque dans le cœur du bois; Payen en a trouvé également dans un frêne; il n'en est plus de même dans les premiers jours de printemps; c'est ainsi qu'il est plus avantageux de couper les gaules de frêne au mois de mai, qu'en toute autre saison, l'amidon en a disparu à cette époque, et les tissus qui en sont dépouillés sont moins attaqués par les insectes que ceux qui en sont gorgés.

La résorption de l'amidon préalablement déposé dans les couches ligneuses pendant les premières périodes de la végétation annuelle des arbres est utilisée à l'alimentation des bourgeons qui se développent rapidement en rameaux couverts de feuilles. Le corps ligneux, rempli des matières nutritives qui y ont été déposées pendant le cours de la végétation de l'année précédente, joue ici le rôle des cotylédons ou du périsperme, dans les premières périodes du développement de l'embryon.

Ces matières rapidement épuisées par l'activité de la végétation printanière se reforment promptement; dès le mois de juin, on voit les divers tissus qui se chargent de grains d'amidon pendant l'hiver, se remplir de nouveau. Le développement des fruits ne paraît amener aucune diminution dans le dépôt de la matière nutritive; l'activité de la végétation suffit alors à la nutrition du fruit sans qu'elle ait besoin de recourir aux provisions réservées pour le développement des rameaux au printemps suivant.

L'activité vitale accomplit dans les végétaux ligneux deux tâches: elle nourrit le fruit qui renferme le germe destiné à propager l'espèce, et elle crée les réserves nécessaires à la conservation de l'individu; dans les plantes annuelles, toute l'activité se porte naturellement sur la production des semences qui assurent la perpétuité de l'espèce, aussi le poids de ces semences est-il énorme par rap-

port au poids total, tandis que dans les végétaux ligneux les fruits ne représentent qu'une faible fraction du poids de l'individu qui les porte.

L'analyse chimique peut aussi bien que l'examen microscopique servir à constater la disparition des réserves du bois après la formation des bourgeons. M. Desbarres, tandis qu'il était élève à l'école de Grignon, a soumis à l'analyse de jeunes rameaux de sumac (Rhus elegans); il a obtenu les nombres suivants se rapportant à 100 de matière sèche et à 100 de cendres.

SUBSTANCES DOSÉES.	BOIS EN HIVER.	BOIS après le DÉVELOPPEMENT des bourgeons.	DIFFÉRENCES.
Matière sèche	72.16	66.70	5.46
Matières azotées	9.42	2.25	7.17
Amidon	17.31	1.57	15.74
Cendres	1.60	1.23	0.37
COMPOSITION DES CENDRES.			
A. phosphorique	4.56	3.42	1.14
Potasse	22.76	21.47	1.29
Chaux	41.62	41.41	0.21

Les matières azotées et surtout l'amidon ont émigré en quantités très notables, la composition des cendres a peu varié.

Les bourgeons comme tous les organes végétaux absorbent de l'oxygène et émettent de l'acide carbonique; à basse température l'absorption d'oxygène est plus forte que l'émission d'acide carbonique; à une température élevée à 35°, c'est l'inverse qui a lieu.

L'influence de la température, celle de l'état des organes, sur la production de l'acide carbonique est considérable; elles ont été mises en lumière par Garreau (1) et par M. Moissan (2), 500 grammes de bourgeons de marronnier pris au mois d'avril ont donné à 15° en 10 heures: 98 centimètres cubes d'acide carbonique; à 30° le même poids de bourgeon en a fourni 202 centimètres cubes.

« Si l'on prend en janvier un rameau de marronnier muni de ses deux bourgeons terminaux à fleurs, on obtiendra pour 100 grammes, en 10 heures, 17 centimètres cubes d'acide carbonique. La vie est engourdie, la respiration est des plus faibles. Au

(1) *Ann. des sc. natur. bot.*, 3e série, XV, 1851.
(2) *Ann. agron.*, t. V, p. 75, 1879.

mois d'avril, lorsque les gaz diminuent à l'intérieur du rameau et que la sève augmente, lorsque les bourgeons se gonflent et que les matières de réserve sont transformées, 100 grammes en 10 heures exhaleront à la même température de 15 degrés 76^{cc},28 d'acide carbonique, sa production est quatre fois supérieure à celle qui avait été constatée en janvier. Ainsi au retour du printemps, lorsque le rameau reçoit une somme de chaleur beaucoup plus grande qu'en hiver, il y a une recrudescence de vie qui se traduit par un accroissement de la respiration. Avant que la jeune feuille sorte du bourgeon, le rameau terminal est le siège de réactions favorisées par la chaleur obscure, réactions qui atteignent alors leur maximum, car le même rameau un mois après, lorsque les feuilles sont complètement épanouies, respirera avec une énergie beaucoup moindre. » (Moissan, *loc. cit.*)

CHAPITRE II

ASSIMILATION DU CARBONE.

Le phénomène par lequel les végétaux à chlorophylle s'emparent de l'acide carbonique aérien, le réduisent sous l'influence des radiations lumineuses et élaborent les matières organiques, est la condition même de l'existence de la vie animale à la surface du globe.

S'il cessait de se produire, les animaux périraient faute de nourriture.

On ne saurait donc exagérer l'importance de son étude; elle comporte les divisions suivantes :

I. — La chlorophylle.

II. — Décomposition de l'acide carbonique par les feuilles insolées.

III. — Conditions nécessaires à la décomposition de l'acide carbonique.

LA CHLOROPHYLLE.

§ 13. — Apparition de la chlorophylle.

Les tissus d'un très grand nombre de plantes verdissent quand ils onts exposés à la lumière; les végétaux qui présentent cette pro-

priété sont désignés sous le nom de plantes à chlorophylle, par opposition à celles qui restent blanches à la lumière; les premières seules sont capables d'utiliser à la formation de la matière végétale l'acide carbonique aérien; les secondes ne vivent que sur la matière organique déjà formée.

Les plantes ne verdissent qu'autant qu'elles sont soumises à l'action de la lumière; pour démontrer son action, on dispose souvent dans les cours de physiologie végétale l'expérience suivante : on remplit d'eau deux vases poreux, semblables à ceux qui servent dans la pile de Bunsen, et à la faveur de l'humidité qui suinte sur les parois, on y fixe des graines de cresson alénois; elles forment dans l'eau un mucilage assez épais pour rester adhérent à la paroi un peu rugueuse du vase; les graines, maintenues humides par l'eau qui traverse lentement la porcelaine, ne tardent pas à germer : si l'un des vases est exposé à la lumière, tandis que le second est enfermé dans une armoire obscure, le premier se couvre bientôt de petites plantes vertes, tandis que les jeunes tiges du second, privées de lumière, restent jaunes.

Une lumière peu énergique est suffisante pour déterminer l'apparition de la chlorophylle, les plantes verdissent même sous l'influence de la lumière du gaz, très aisément sous celle de la lumière électrique.

Toutes les radiations émanées d'une source lumineuse ne sont pas cependant également efficaces pour déterminer le verdissement des plantes; c'est dans la partie du spectre où se trouve le maximum d'éclairement que la chlorophylle apparaît le plus rapidement, elle se produit plus lentement dans les rayons ultra-rouges et dans la région ultra-violette; toutes les espèces ne se conduisent pas au reste de la même façon : les rayons ultra-rouges, incapables de verdir les pousses étiolées de la plupart des plantes, agissent cependant sur les conifères, les fougères ou le gui. Après avoir traversé une dissolution de bichromate de potasse, un faisceau de lumière blanche n'est plus formé que des rayons rouges, orangés, jaunes et d'une partie des rayons verts : la dissolution qui laisse passer la partie gauche du spectre retient les rayons les plus réfrangibles; or, tandis que ces radiations jaunes rouges verdissent énergiquement les plantes étiolées, celles qui émergent d'une dissolution de sulfate de cuivre dans l'ammoniaque, formées des rayons réfrangibles, mais privées des radiations rouges et jaunes, sont beaucoup moins efficaces.

§ 14. — Composition de la chlorophylle.

La coloration verte que prennent les plantes éclairées est due à la matière désignée sous le nom de chlorophylle (1).

On l'obtient aisément en dissolution, en traitant par l'alcool des feuilles hachées et bien exprimées pour enlever la plus grande partie de l'eau qu'elles renferment. On prépare une dissolution plus concentrée, en disposant les feuilles sous une grande cloche au-dessus d'un cristallisoir garni d'acide sulfurique concentré; en vingt-quatre heures, les feuilles sont sèches et cassantes, réduites en poudre dans un moulin, puis épuisées par l'alcool bouillant, elles lui cèdent leur matière colorante. Cette dissolution est dichroïque, verte à la lumière transmise, elle est rouge par réflexion.

Un grand nombre de travaux ont été exécutés sur la chlorophylle : il est facile de montrer que ce n'est pas une matière pure, mais bien un mélange de diverses substances; en agitant par exemple de la chlorophylle en dissolution dans l'alcool avec de la benzine, on laisse dans l'alcool affaibli une matière colorante jaune, tandis que la benzine monte à la partie supérieure, entraînant une matière bleuâtre; la première a été désignée sous le nom de phylloxanthine, la seconde sous le nom de phyllocyanine (Fremy). Les réactifs énergiques tels que l'acide chlorhydrique additionné d'éther décomposent également la chlorophylle, l'acide reste à la partie inférieure coloré en bleu, tandis que l'éther qui surnage se colore en jaune.

On extrait aisément de la chlorophylle une substance cristallisée, elle a reçu le nom de chlorophyllane.

M. Gautier la prépare en épuisant de la pulpe d'épinards exactement neutralisée, par de l'alcool faible qui enlève quelques impuretés, puis par l'alcool fort qui dissout la chlorophylle; on la fixe par filtration sur du noir animal; à l'aide d'alcool étendu, on sépare une matière jaune rougeâtre désignée sous le nom d'érythrophylle; en reprenant enfin le noir animal par de l'éther on dissout la chlorophyllane qui cristallise par évaporation.

C'est à elle que se rapportent les analyses exécutées par divers auteurs.

(1) M. L. Maquenne a donné un résumé très complet des travaux exécutés sur la chlorophylle dans le *Dictionnaire d'Agriculture*, t. II, p. 265.

Composition de la chlorophyllane.

Auteurs.		Carbone.	Hydrogène.	Azote.	Oxygène.	Cendres.
Gautier.....		73.97	9.8	4.15	10.33	1.75
Hoppe Seyler.....		73.4	9.7	5.62	9.57	1.71
Rogalski	I.....	73.2	10.5	4.14	»	1.67
	II.....	72.8	10.2	4.14	»	1.64

Le mélange désigné sous le nom de chlorophylle d'où dérive la chlorophyllane est donc azoté, c'est ce qui paraît évident quand on voit quelle vigueur prend la teinte verte des plantes qui ont reçu au printemps d'abondants engrais azotés.

Les modifications que subit la coloration verte des feuilles en raison des engrais distribués ont été étudiées dans ces derniers temps par M. G. Ville. La vigueur du coloris des feuilles est due non seulement à l'abondance de la chlorophylle, mais aussi à la présence d'une matière colorante rouge, que M. Arnaud, qui l'a découverte dans les feuilles, a identifiée avec la *carotine*. On sépare cette matière rouge des feuilles en les séchant rapidement sous le vide sec et en les traitant, après les avoir grossièrement pulvérisées, par de l'éther de pétrole, qui ne dissout pas la chlorophylle.

La carotine des feuilles ou *érythrophylle* est très soluble dans le sulfure de carbone auquel elle donne une coloration rouge, d'autant plus forte qu'elle s'y trouve en plus grande proportion, et on conçoit que l'intensité de cette coloration puisse servir à déterminer, par comparaison avec une série de flacons remplis de sulfure de carbone chargé de quantités régulièrement croissantes de carotine, le poids de cette matière qui existe dans les feuilles ; à l'aide de cette méthode, M. G. Ville trouve qu'il existe une relation étroite entre la vigueur des plantes, le poids de récolte qu'elles fournissent et la quantité de carotine qu'elles renferment.

Le mélange de la couleur verte et de la couleur rouge déterminant une coloration noire, on comprend que la teinte des feuilles soit de plus en plus foncée à mesure que la chlorophylle et la carotine y sont plus abondantes.

Le rôle physiologique de la carotine, qui ne forme guère que le $\frac{1}{1000}$ du poids des feuilles sèches, est encore tout à fait inconnu (1).

On réussit à montrer directement l'influence qu'exerce l'abon-

(1) *Revue scientifique*, 3e série, t. XIX, p. 173 et 648.

dance des matières azotées données comme engrais, sur le verdissement des feuilles de la façon suivante : on repique un pied de tabac dans une terre pauvre, il développe plusieurs feuilles d'un vert jaunâtre; on ajoute alors au sol une bonne dose d'engrais azoté, les feuilles supérieures, qui prennent naissance sous son influence, présentent une teinte verte beaucoup plus foncée que les premières.

§ 15. — Spectre de la chlorophylle.

Si on place une dissolution de chlorophylle devant la fente du spectroscope (1), puis qu'on examine le spectre obtenu, on observe

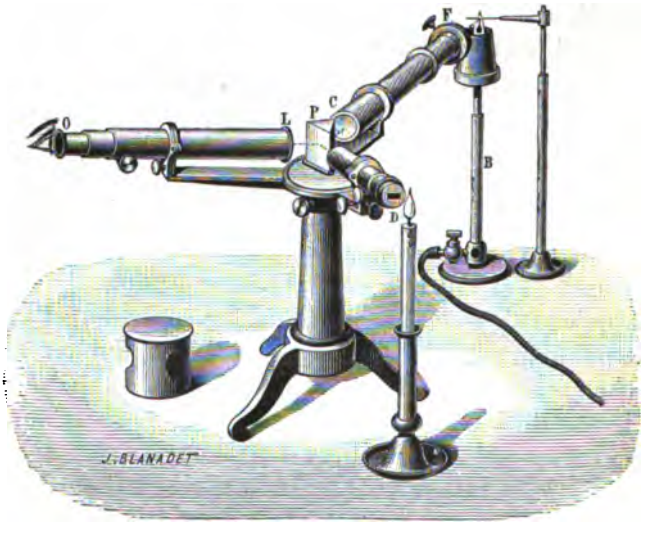


Fig. 17. — Spectroscope. (Élévation.)

qu'il est sillonné de bandes sombres. A gauche du spectre, les rayons rouges passent avec tout leur éclat, ils sont suivis d'une bande obscure comprise entre les raies B et C du spectre et très

(1) Le spectroscope employé aujourd'hui dans tous les laboratoires se compose essentiellement, comme le montrent les figures ci-jointes, d'un prisme P sur lequel arrivent des rayons lumineux concentrés par les lentilles de FC : déviés de leur route par la réfraction (fig. 18) ils émergent du prisme et sont reçus dans une lunette OL. Si on se borne à recevoir en F (fig. 17) les rayons émanés d'une lampe à gaz, on observe en O le *spectre*, c'est-à-dire une image formée par les radiations rouges, oranges, jaunes, vertes, bleues, indigos et violettes; pour préciser la place qu'elles occupent dans le spectre, on éclaire habituellement une échelle tracée sur verre et placée en D, à l'aide

nettement terminée, elle prend tout l'orangé ; dans le jaune et le jaune vert se trouvent des bandes d'absorption infiniment moins nettes que la précédente ; tout près de la raie F dans le bleu commence une bande d'absorption qui fait disparaître presque complètement toute la partie réfrangible du spectre ainsi que le montre grossièrement la figure 19.

Ainsi la chlorophylle ne laisse pas passer indifféremment tous les rayons lumineux ; si elle se laisse traverser à gauche par du rouge, au milieu par du vert et les rayons immédiatement voisins, elle retient d'une part les rayons orangés et de l'autre les rayons bleus

Fig. 18. — Spectroscope. (Plan.)

et violets, elle les éteint, les absorbe, et nous allons reconnaître qu'ils exercent sur elle des actions énergiques.

§ 16. — Altérations de la chlorophylle.

La dissolution alcoolique de chlorophylle est rapidement attaquée

d'une bougie, les rayons réfléchis arrivent dans la lunette en même temps que le spectre (fig. 18) et les deux images sont placées l'une au-dessus de l'autre.

Quand on étudie à l'aide du spectroscope la lumière solaire, on voit les couleurs striées de lignes noires qui correspondent à l'absorption de diverses radiations par les vapeurs métalliques du soleil, ces raies servent à désigner les diverses parties du spectre.

par les rayons solaires; elle ne tarde pas à perdre sa belle couleur verte, à devenir jaune. Si on imprègne de chlorophylle une bande de papier et qu'on en expose une partie aux rayons solaires, celle-ci est décolorée, tandis que la partie protégée conserve sa couleur.

La chlorophylle en place est même profondément altérée par certaines radiations; c'est ce que j'ai eu occasion de reconnaître dans des expériences exécutées en 1881, pendant l'*Exposition d'électricité*, où avait été disposée une petite serre exclusivement éclairée par la lumière électrique émanée d'un régulateur à charbons.

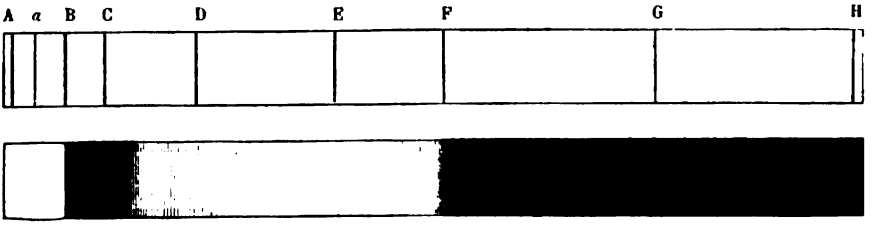


Fig. 19. — Spectre d'absorption de la chlorophylle.

Après quelques jours d'éclairement, tous les pélargoniums avaient perdu leurs feuilles, les cannas étaient tachés, les belles de nuit flétries, les bambous noircis, mais l'effet le plus curieux s'était produit sur les lilas; toutes les parties des feuilles qui avaient reçu directement les rayons émanés de la source étaient teintées en noir, tandis que les parties protégées par les feuilles supérieures conservaient leur belle couleur verte; l'impression produite par les rayons électriques sur l'épiderme des feuilles avait la netteté d'une épreuve photographique. Habituellement, l'épiderme seul était atteint, les cellules épidermiques étaient parfois noircies seulement à la surface, parfois le protoplasma était contracté et mort, mais l'altération s'arrêtait à la file des cellules en palissades placées au-dessous de l'épiderme.

Quand la lumière électrique fut entourée d'un verre transparent qui retient les rayons violets, les effets précédents cessèrent de se produire, d'où il faut conclure que c'est la partie la plus réfrangible du spectre qui exerce sur la chlorophylle l'action la plus vive (1).

Dans les expériences qu'il a exécutées en Angleterre, M. Siemens a reconnu également l'influence fâcheuse des rayons émanés d'un

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 551.

régulateur (1) quand ils n'avaient pas traversé une couche de verre.

Il est à remarquer au reste que les rayons qui déterminent la destruction de la chlorophylle sont différents de ceux qui provoquent le verdissement, c'est ce qu'a démontré M. J. Sachs par une élégante expérience.

Une éprouvette à pied est remplie d'une dissolution alcoolique de chlorophylle, on y plonge un tube également rempli de cette même dissolution et on reconnaît que la chlorophylle y reste sans altération, tant qu'elle est protégée par la couche extérieure qui se décolore peu à peu; les rayons actifs pour provoquer la décomposition sont arrêtés par la dissolution extérieure; si cependant on enlève cette dissolution intérieure et qu'on la remplace par un tube renfermant de jeunes plantes étiolées, elles verdissent, la chlorophylle extérieure, même encore intacte, étant incapable de retenir les radiations efficaces pour provoquer ce verdissement.

Il résulte des recherches de M. Reinke que l'action destructive des diverses radiations lumineuses est en relation étroite avec leur faculté d'absorption; en représentant par 100 la quantité de chlorophylle détruite par la partie rouge orangée correspondante à la grande bande d'absorption, il trouve que dans le rouge sombre, à gauche de la bande d'absorption, cette destruction n'est plus représentée que par 37, par 77 pour l'orangé, 53 pour le jaune, 33 pour le vert, mais qu'elle remonte à 49 et à 72 pour le bleu et le violet, l'un et l'autre bien absorbés (2).

L'altération rapide de la chlorophylle sous l'influence des radiations lumineuses paraît être due à une oxydation : M. V. Jodin (3) a trouvé qu'une dissolution de chlorophylle exposée à l'action de la lumière se décolorait en absorbant de l'oxygène et émettant de l'acide carbonique, mais cette oxydation n'a pas lieu à l'obscurité; d'autre part on a reconnu qu'à l'abri de l'air la chlorophylle ne se décolore plus, M. Pringsheim a maintenu de la chlorophylle intacte, même en concentrant sur elle les rayons au moyen d'une lentille, à la condition de faire parcourir le tube qui la renfermait par un courant d'hydrogène ou d'acide carbonique.

§ 17. — Disposition des grains de chlorophylle dans les cellules.

Un grand nombre d'observateurs : MM. Bœhm, Sachs, Famitzin,

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 457.
(2) *Ann. agron.*, t. XI, p. 231.
(3) *Comptes rendus*, t. LIX, p. 857 (1864).

Borodin, Prilleux ont observé les diverses positions que prennent dans les cellules les grains de chlorophylle ; ces mouvements s'observent surtout dans les plantes inférieures, notamment dans les mousses désignées sous le nom de *Mnium*s (1). M. Borodin a étendu ces observations à la plante aquatique désignée sous le nom de *Lemna trisulca* (2). Il a vu les grains de chlorophylle, d'abord distribués irrégulièrement dans les cellules, changer de place sous l'influence de l'insolation, se réunir sur les parois, y former un chapelet continu, puis finir, si l'éclairage est trop vif, par se grouper, soit sur les parois des cellules parallèles aux rayons incidents, soit même former des paquets volumineux dans les angles des cellules comme s'ils fuyaient l'action trop vive des rayons lumineux.

Cette étude a été reprise plus récemment par M. Stahl, il a particulièrement opéré sur un *Mesocarpus*, algue filamenteuse, fréquente dans les fossés pleins d'eau ; chaque cellule renferme un ruban de chlorophylle qui parcourt toute sa longueur, apparaissant tantôt, lorsqu'il est vu de champ, comme un mince filet vert, tantôt, quand il se présente de face, comme une large plaque qui remplit toute la cavité cellulaire.

Ces filaments étant étendus horizontalement sur le porte-objet du microscope, on remarque qu'ils se déplacent avec la direction des rayons lumineux qu'ils reçoivent ; si on soumet le mésocarpus à un éclairage modéré dirigé horizontalement le ruban se place verticalement, de façon à ne montrer que sa tranche à l'observateur, tandis qu'il se remet à plat en présentant sa largeur si la lumière arrive verticalement ; les filaments s'orientent ainsi perpendiculairement aux rayons lumineux tant que ceux-ci proviennent d'une lumière diffuse peu énergique ; mais c'est l'inverse qui a lieu quand on emploie les rayons solaires directs, dans ce cas les rubans de chlorophylle se déplacent et, pour se soustraire aux radiations trop énergiques, ils ne leur présentent que leur tranche (3), c'est-à-dire qu'ils sont horizontaux quand la lumière est elle-même horizontale et verticaux quand elle est verticale.

C'est peut-être aux déplacements des grains de chlorophylle dans les cellules, qu'il faut attribuer le fait observé depuis longtemps par J. Sachs de la décoloration des feuilles exposées à une vive lumière. L'expérience est facile à répéter, en appliquant de

(1) Famitzin, *Ann. des sciences naturelles, Botanique*, 5e série, t. VII, p. 193.
(2) Borodin, *Ann. scien. natur. bot.*, 5e série, t. XII, p. 80.
(3) *Ann. agron.*, t. VII, p. 150.

petites bandes de plomb sur des feuilles de tabac ou de maïs éclairées par la lumière directe; en enlevant les écrans après dix ou quinze minutes, on reconnaît que la partie protégée présente une couleur plus foncée que le reste de la feuille; la tache ainsi produite disparaît au reste rapidement si la partie d'abord recouverte par la lame métallique est ensuite exposée à la lumière.

L'action de la lumière sur les mouvements des organismes chargés de chlorophylle se démontre encore à l'aide des zoospores émis par les petites algues d'eau douce appartenant au groupe des Protococcacées.

M. Bréal a disposé la curieuse expérience suivante (1) : un tube d'essai est noirci extérieurement sur une flamme fuligineuse : à l'aide d'un stylet on dessine ou l'on écrit sur le noir de fumée de façon à mettre le verre à nu. On remplit alors le tube avec le liquide chargé des zoospores, et on expose à la lumière pendant une ou deux heures; on vide ensuite le tube et on enlève le noir de fumée. Les caractères tracés sur le noir sont exactement reproduits en vert par les zoospores à l'intérieur du tube; ils se sont fixés là seulement où la lumière pénétrait dans le tube et y ont formé une couche continue, adhérente, qui résiste aux lavages à l'eau et persiste d'une année à l'autre.

M. E. Bréal a constaté en outre que toutes les lumières ne sont pas favorables à la fixation des zoospores; en immergeant à moitié des tubes garnis extérieurement d'un manchon de clinquant laissant entre les deux bords verticaux de l'enveloppe une bande découverte, dans des dissolutions : rouge, jaune, verte ou bleue, il a vu les zoospores se fixer toujours dans la partie qui recevait la lumière blanche, ne pas se fixer sur la bande qui recevait les lumières rouge, verte ou jaune, tandis qu'ils ont adhéré sur la paroi éclairée par la lumière bleue.

DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR LES PLANTES VERTES.

§ 18. — Historique et démonstration expérimentale.

C'est au naturaliste genévois Bonnet qu'on doit la première observation sur l'émission des gaz par les plantes. Au com-

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 324.

mencement de l'été de 1769, dit-il, « j'introduisis dans des poudriers pleins d'eau des rameaux de vigne. Dès que le soleil commença à échauffer l'eau des vases, je vis paraître sur les feuilles des rameaux beaucoup de bulles semblables à de petites perles. J'en observai aussi, mais en moindre quantité, sur les pédoncules et sur les tiges... Je fis bouillir de l'eau trois quarts d'heure, afin de chasser l'air qu'elle contenait. Après l'avoir laissé refroidir, j'y plongeai un rameau semblable au précédent. Je l'y tins en expérience environ deux jours; le soleil était ardent, je ne vis pourtant paraître aucune bulle. »

Il est vraisemblable que Priestley ignorait ces résultats, quand il publia, en 1772, dans ses *Recherches sur diverses espèces d'air*, les mémorables expériences dans lesquelles on a vu, pour la première fois, de l'oxygène dégagé des végétaux.

Priestley, après s'être occupé des modifications que le séjour des animaux dans une atmosphère limitée lui fait subir, fut en quelque sorte conduit à rechercher l'influence qu'exercent les végétaux sur ces atmosphères viciées.

« J'ai eu le bonheur, dit-il, de trouver par hasard une méthode de rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein : c'est la végétation.

« On serait porté à croire que puisque l'air commun est nécessaire à la vie végétale aussi bien qu'à la vie animale, les plantes et les animaux doivent l'affecter de la même manière, et j'avoue que je m'attendais au même effet, la première fois que je mis une tige de menthe dans une jarre de verre renversée sur l'eau. Mais, après qu'elle y eut poussé quelques mois, je trouvai que l'air n'éteignait pas la chandelle et qu'il n'était pas nuisible à une souris que j'y exposai.

« ... Le 16 août 1771, je mis une plante de menthe dans une quantité d'air où une bougie avait cessé de brûler et je trouvai que, le 27 du même mois, une autre bougie pouvait y brûler parfaitement bien. Je répétai cette expérience sans la moindre variation dans le résultat, jusqu'à huit ou dix fois pendant le reste de l'été.

« Cette observation me conduit à conclure que les plantes, bien loin d'affecter l'air de la même manière que la respiration animale, produisaient des effets contraires et tendaient à conserver l'atmosphère douce et salubre, lorsqu'elle est devenue nuisible en consé-

quence de la vie et de la respiration des animaux... ». « Les preuves d'un rétablissement partiel de l'air par des plantes en végétation, quoique dans un emprisonnement contre nature, servent à rendre très probable, que le tort que fait continuellement à l'atmosphère la respiration d'un si grand nombre d'animaux et la putréfaction de tant de masses de matière végétale et animale, est réparé, du moins en partie, par la création végétale; et nonobstant, la masse prodigieuse d'air qui est journellement corrompue par les causes dont je viens de parler, si l'on considère la profusion immense des végétaux qui croissent sur la surface de la terre, dans des lieux convenables à leur nature et qui, par conséquent, exercent en pleine liberté tous leurs pouvoirs, tant inexhalants qu'exhalants, on ne peut s'empêcher de convenir que tout est compensé et que le remède est proportionné au mal. »

Ainsi, non seulement, dans cette mémorable expérience, Priestley découvre que les végétaux émettent de l'oxygène, mais il reconnaît en outre l'influence opposée que les plantes et les animaux exercent sur l'atmosphère.

Quelque admiration qu'on éprouve devant cette découverte, on est forcé de reconnaître cependant qu'elle était incomplète. Priestley ignorait les conditions de réussite, et c'est à Ingen Housz qu'était réservée la gloire de montrer que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles n'a lieu que sous l'influence de la lumière solaire.

C'est lui qui a fait voir que « l'air déphlogistiqué », l'oxygène, ne se dégage des feuilles qu'autant que celles-ci sont exposées aux radiations solaires. Ce nouveau point acquis, une question importante reste encore à résoudre pour élucider les résultats de Priestley et ceux d'Ingen Housz : il reste à démontrer que l'oxygène dégagé par les plantes ne provient pas de leurs tissus, mais bien de la décomposition de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère où elles séjournent, que cet oxygène est le résidu de l'acide carbonique décomposé dans les cellules, que les plantes sont de véritables appareils de réduction fixant le carbone et dégageant l'oxygène. L'intervention d'un troisième expérimentateur est nécessaire pour donner une esquisse complète du phénomène et c'est Sennebier, pasteur à Genève, qui démontre qu'en exposant au soleil des feuilles plongées dans l'eau, elles ne dégagent d'oxygène qu'autant que l'eau tient en dissolution de l'acide carbonique : pour que le dégagement de l'oxygène puisse être observé, il faut que

l'acide carbonique, dont l'oxygène est un des éléments, soit décomposé au soleil par l'acte de la végétation.

Démonstration expérimentale. — *Appareil de Cloëz et Gratiolet.* — Le mode d'opérer employé par Bonnet et Sennebier a été utilisé de nouveau par Cloëz et Gratiolet dans le travail resté classique qu'ils ont exécuté en 1849 (1).

Dans un flacon de deux litres, on met de l'eau ordinaire jusqu'aux quatre cinquièmes de la hauteur, on y introduit des tiges

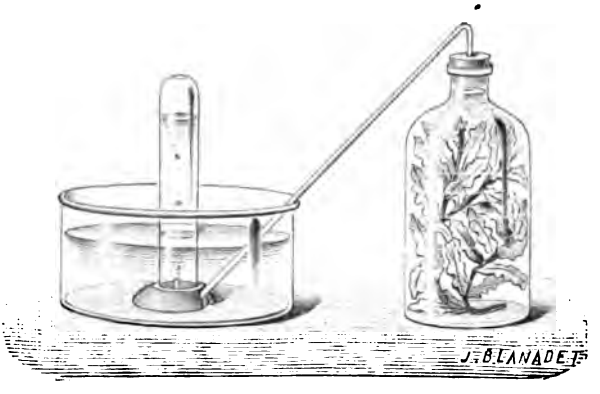


Fig. 20. — Décomposition de l'acide carbonique par des plantes aquatiques.

d'une plante marécageuse, de l'*Elodea Canadensis*, par exemple, ou encore du *Ceratophyllum submersum*, du *Potamogeton Crispus*, on achève de remplir le flacon avec de l'eau saturée d'acide carbonique, on y adapte un bouchon muni d'un tube abducteur en s'arrangeant de façon que le tube se remplisse d'eau, au moment de la fermeture et on expose le tout au soleil; on ne tarde pas à voir de petites bulles de gaz apparaître sur les feuilles, tandis qu'il s'en dégage d'autres par les sections des pédoncules.

En général, quand on opère régulièrement, que la dissolution carbonique n'est pas trop concentrée, que les plantes sont peu tassées, on peut en une demi-heure recueillir une centaine de centimètres cubes de gaz ; débarrassé par la potasse de l'acide carbonique entraîné, ce gaz est habituellement assez riche en oxygène pour rallumer les allumettes.

Le dégagement d'oxygène varie avec l'éclairement, quand le soleil est ardent les bulles de gaz se succèdent rapidement, elles

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XXXII, p. 41.

deviennent rares aussitôt que les nuages obscurcissent la lumière.

La quantité d'oxygène dégagée dans cette expérience peut servir de mesure grossière à l'assimilation. Quelques observateurs ont proposé de mesurer, non plus le nombre de centimètres cubes dégagés dans un temps donné, mais de se borner à compter le nombre de petites bulles de gaz qui s'échappent par la section d'un rameau immergé; le procédé paraît peu rigoureux, M. Reinke qui l'a soumis à une nouvelle étude l'a cependant trouvé plus exact qu'on ne supposait qu'il le fût (1).

Les expériences précédentes démontrent que les feuilles insolées décomposent l'acide carbonique et en dégagent de l'oxygène; ce premier point établi, il nous faut pénétrer dans le détail du phénomène et chercher d'abord comment l'acide carbonique pénètre dans les feuilles.

§ 19. — Absorption de l'acide carbonique par les feuilles.

Quand on réfléchit à la parcimonie avec laquelle l'acide carbonique est répandu dans l'air, puisqu'il n'en forme que les 3 dix-millièmes, on est étonné qu'il puisse être l'origine de la masse de carbone fixé dans les végétaux, et l'on est conduit à penser que sa rareté doit être compensée par une extrême facilité d'absorption par les feuilles.

C'est en effet ce qu'il est aisé de montrer par l'expérience.

On dispose dans un endroit bien éclairé : deux longs tubes de verre parallèles, l'un est *pavé* de feuilles longues et étroites comme celles des graminées, de façon que toute la partie inférieure du tube soit recouverte, l'autre tube reste vide; les deux tubes sont liés à des flacons renfermant de l'eau de baryte dans laquelle barbotera l'air qui aura traversé les tubes, quand il y sera attiré par des aspirateurs de marche bien égales.

Quand cet appareil fonctionne, on voit rapidement se troubler l'eau de baryte traversée par l'air qui a parcouru le tube vide, tandis que celle qui est agitée par l'air du tube à feuilles reste limpide, tout l'acide carbonique contenu dans l'air a donc été saisi au passage, et il faut beaucoup accélérer le mouvement de l'air pour voir l'eau de baryte se troubler par l'acide carbonique qui a échappé à l'action absorbante des feuilles.

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 38.

Cette expérience n'est que qualitative, nous avons en outre, M. Maquenne et moi (1), construit un appareil qui nous a permis de mesurer cette absorption, et de déterminer pour diverses feuilles et diverses températures le coefficient d'absorption de l'acide carbonique.

Cet appareil est disposé de telle sorte que les feuilles vidées de gaz par l'action de la pompe à mercure peuvent être mises subitement en contact avec l'acide carbonique; celui-ci est enfermé dans un voluménomètre à mercure, et l'ascension du liquide sert à mesurer l'absorption.

Elle est instantanée. Le mercure s'élève à un certain niveau, y reste stationnaire, puis après quelque temps éprouve un léger mouvement de descente dû au dégagement d'acide carbonique par la respiration intra-moléculaire (voyez plus loin le chapitre : *Respiration*).

On reconnaît à l'aide de cet appareil que le coefficient d'absorption varie d'une feuille à l'autre et pour la même feuille avec la température; qu'il est étroitement lié à la quantité d'eau contenue dans les feuilles. En comparant les nombres observés pour l'absorption de l'acide carbonique à ceux qu'on calcule d'après le coefficient de solubilité de l'acide carbonique et la quantité d'eau des feuilles, on trouve des chiffres très voisins; l'absorption par les feuilles est cependant un peu supérieure à celle de l'eau, comme si cette absorption était due non seulement à une dissolution de l'acide carbonique dans l'eau des tissus, mais en outre à une combinaison, à la formation d'acide carbonique hydraté.

Ces expériences démontrent donc que grâce à sa solubilité dans l'eau qui gorge les feuilles, l'acide carbonique aérien est saisi par ces organes, il y pénètre et si l'éclairement est suffisant, il s'y décompose et on conçoit en même temps combien la structure des végétaux est bien adaptée à leurs fonctions.

La feuille est plate, elle offre une large surface absorbante; dans un arbre, elle est portée à l'extrémité des branches ramifiées à l'infini, qui s'étendent dans l'atmosphère pour y puiser l'aliment qui leur est nécessaire comme les racines s'enfoncent et se divisent dans le sol, pour y chercher l'eau également nécessaire à la vie végétale.

La flexibilité du bois est favorable à l'action absorbante des

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 526.

feuilles, celles-ci s'emparent non seulement de l'acide carbonique des couches d'air constamment renouvelées par les courants atmosphériques, mais en outre les mouvements incessants dont les branches sont animées amènent à chaque instant les feuilles au contact de nouvelles masses d'air qui chacune à leur tour sont dépouillées de l'acide carbonique qu'elles renferment.

§ 20. — Rapport $\frac{O}{CO^2}$ de l'oxygène dégagé, par les feuilles éclairées, a l'acide carbonique disparu.

Dans quels rapports se trouvent l'acide carbonique absorbé et l'oxygène émis, c'est ce qu'il nous faut maintenant examiner (1).

Les premières expériences exécutées sur ce sujet sont dues à Th. de Saussure, elles lui fournirent les chiffres suivants :

Plantes mises en expériences.	Acide carbonique disparu.	Oxygène apparu.	Oxygène manquant pour représenter celui de l'acide carbonique disparu.	Azote apparu.
Pervenche.....	431cc	292cc	139cc	139cc
Menthe aquatique..	309	224	85	86
Salicaire.....	149	121	28	21
Aiguilles de pin....	306	246	60	20
Cactus opuntia.....	184	126	58	57

Th. de Saussure avait très bien remarqué que l'oxygène manquant, pour représenter celui qui existait dans l'acide carbonique décomposé, était remplacé par un volume à peu près égal d'azote, mais il semble avoir cru que cet azote provenait de la décomposition des matières azotées contenues dans les tissus de la plante elle-même.

Il n'en est rien; la quantité d'azote combiné, contenu dans les

(1) Il est important de se rappeler, pour la compréhension facile de ce qui va suivre, qu'un volume d'acide carbonique renferme un volume d'oxygène. On le démontre aisément dans les cours de chimie par l'expérience suivante : on remplit de mercure un petit ballon à col allongé, on le retourne sur la cuve à mercure et on y fait pénétrer de l'oxygène, on le fixe alors sur un support et on marque le niveau du mercure sur le col du ballon.

On a préalablement purifié du charbon de bois en le chauffant au rouge dans un courant de chlore pour le priver de l'hydrogène qu'il renferme habituellement; on fixe un morceau de ce charbon à un fil de platine flexible, on fait pénétrer le charbon dans le ballon, puis on l'allume à l'aide des rayons solaires réunis par une lentille; quand le charbon s'éteint on voit que le mercure repoussé d'abord par l'élévation de température revient exactement à son niveau primitif. Si on introduit dans le ballon une dissolution de potasse, on voit le mercure s'élever et remplir le ballon, la petite quantité de gaz non absorbée est de l'oxygène pur.

feuilles mises en expériences par Th. de Saussure, était bien inférieure à celle qui est apparue dans ces expériences et les feuilles n'étaient pas altérées.

En outre, dans leurs expériences sur les plantes submergées insolées, Cloëz et Gratiolet ont reconnu que le gaz qu'elles dégageaient était beaucoup moins chargé d'azote dans les derniers jours de l'expérience que dans les premiers ; il est clair que si l'azote provenait d'une altération de la plante, d'une désorganisation des tissus, d'une destruction des matières azotées dégageant à l'état libre le gaz azote qu'ils renferment, ce gaz devrait être d'autant plus abondant que les plantes sont dans un état de décomposition plus avancée et par suite que l'expérience s'est prolongée plus longtemps, or on trouve précisément un résultat inverse.

Il était donc probable que l'azote dégagé dans ces expériences provenait du gaz interposé dans les méats des feuilles ; rien n'est plus simple, en effet, que de constater la présence dans les feuilles d'une notable quantité de gaz ; en plaçant les feuilles dans de l'eau préalablement bouillie contenue dans un flacon bien bouché et mis en relation avec une trompe, on voit toute la surface de la feuille se couvrir de bulles de gaz, en même temps qu'il s'en dégage par les déchirures, aussitôt que la trompe a commencé à faire le vide ; il importait donc, pour arriver à déterminer exactement les rapports de l'oxygène dégagé à l'acide carbonique décomposé, de tenir compte des gaz contenus dans les feuilles.

Expériences de M. Boussingault. — C'est ce que n'a pas manqué de faire Boussingault : dans le travail classique qu'il a consacré à ce sujet, il s'est particulièrement attaché à démontrer que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles n'est accompagnée d'aucun dégagement d'azote (1).

La méthode employée comporte l'emploi de trois ballons, d'un lot de feuilles bien homogène, et enfin d'une provision d'eau légèrement chargée d'acide carbonique. Tous les ballons sont complètement remplis de cette eau ; soumise à l'ébullition dans le ballon n° 1, elle abandonne tous les gaz dissous qu'elle renferme, leur mesure et leur analyse donne le volume et la composition de l'atmosphère de l'eau. Dans l'eau du ballon n° 2, on introduit un poids déterminé de feuilles, on soumet le tout à l'ébullition, on a le volume et la composition de l'atmosphère réunie des feuilles et de

(1) *Agronomie*. t. III, p. 266. — *Ann. de chim. et de phys.* 3e série, t. LXVI, p. 205, 1862.

l'eau, d'où l'on déduit le volume et la nature des gaz contenus dans les feuilles ; enfin le ballon n° 3 reçoit de l'eau et des feuilles semblables à celles du n° 2, il est soumis à l'influence des radiations solaires et c'est seulement après cette insolation que les gaz sont chassés par l'ébullition. La différence de composition des gaz extraits des ballons 2 et 3 donne l'indication précise des modifications que l'insolation a fait subir à l'atmosphère des feuilles et de l'eau.

Les nombreuses expériences exécutées ont fait voir que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles n'est accompagnée d'aucun changement dans le volume de l'azote, elles démontrèrent en outre que le volume d'oxygène dégagé est sensiblement égal au volume d'acide carbonique disparu. « Si l'on considère l'ensemble des résultats, comme ayant été fournis par une observation unique, on trouve qu'il a disparu $1339^{cc},38$ de gaz acide carbonique et qu'il est apparu $1322^{cc},61$ de gaz oxygène, que par conséquent 100 volumes d'acide carbonique ont fourni $98^{vol},75$ de gaz oxygène.

On avait cru voir dans les gaz émis par les feuilles une petite quantité d'oxyde de carbone et même de formène, mais des recherches ultérieures montrèrent que l'oxygène est le seul gaz émis pendant cette décomposition de l'acide carbonique.

Expériences éxécutées au Muséum. — Le mode de recherche précédent peut être aujourd'hui très simplifié. Les instruments que nous possédons maintenant permettent d'aborder l'étude de l'assimilation de l'acide carbonique plus aisément que ne l'a fait Boussingault, et sans s'astreindre à opérer dans l'eau comme il l'avait fait : s'il est légitime, en effet, d'aborder l'étude de l'assimilation du carbone, en maintenant submergée une plante aquatique, opérer de la même façon sur une plante aérienne ne l'est plus.

Dans les expériences récentes (1888) entreprises au Muséum, des feuilles sont introduites dans un petit tube de 35 à 45 centimètres cubes, muni à l'une de ses extrémités d'un robinet de verre et ouvert à l'autre (fig. 3). Quand les feuilles sont en place, on ferme le tube avec une petite plaque de verre rodée et de la cire Golaz ; le tube est placé dans un manchon rempli d'eau à la température du laboratoire. Quand on s'est assuré que le tube a pris cette température qui est notée, on lie le robinet de verre à une trompe à mercure, on vide tous les espaces nuisibles, puis on ouvre le robinet de verre, on fait couler le mercure et on recueille le gaz entraîné,

en le mesurant on connaît le volume de gaz que renferment le tube et les feuilles; on y fait pénétrer un mélange gazeux contenant de 5 à 10 centièmes d'acide carbonique fourni par un flacon de 1 ou 2 litres dans lequel le gaz est déplacé par du mercure ou de l'acide sulfurique; on s'assure à l'aide d'un petit manomètre soudé au tube abducteur que le gaz est bien à la pression atmosphérique, et après avoir attendu quelques instants que le gaz ait pris la température du manchon, on ferme le robinet et on expose le tube à la lumière.

On prélève, en mettant en jeu la trompe, un peu de gaz dans le gazomètre et on le soumet à l'analyse dans l'eudiomètre Schlœsing (fig. 6).

Après une ou deux heures d'exposition à la lumière, le tube est rapporté au laboratoire, on fait le vide dans les espaces nuisibles, puis on ouvre le robinet, on aspire complètement les gaz par la trompe et on les analyse.

En opérant ainsi, on trouve, comme M. Boussingault, qu'il n'y a aucun changement dans le volume de l'azote, et que le volume de l'oxygène dégagé est exactement celui de l'acide carbonique disparu.

On n'a jamais pu trouver traces de gaz oxyde de carbone dans les gaz obtenus de la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, il est probable que les gaz combustibles signalés par Boussingault dans ses expériences provenaient : l'oxyde de carbone de l'action de la potasse sur l'acide pyrogallique employé pour absorber l'oxygène, le formène dont il a aussi signalé la présence, d'une décomposition de la cellulose sous l'influence d'un ferment figuré agissant dans l'eau.

Il reste donc établi que l'acide carbonique est décomposé par les cellules à chlorophylle éclairées en fournissant un volume d'oxygène égal à celui qu'il renferme.

Discussion sur l'origine de l'oxygène dégagé. — Le fait ainsi établi doit être sainement interprété :

L'oxyde de carbone n'est pas décomposé par les feuilles, Th. de Saussure, Boussingault et nous-même dans les expériences que nous venons de rapporter, n'avons jamais pu constater la moindre trace d'oxygène après insolation de feuilles maintenues dans l'oxyde de carbone dilué d'hydrogène; aussi admet-on généralement que la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles n'est pas complète, et qu'on a seulement de l'oxyde de carbone et de l'oxygène, mais comme dans ce cas le volume d'oxygène mis en liberté

ne serait que la moitié de celui que renferme l'acide carbonique, on est conduit à supposer que l'eau se décompose en même temps, et fournit par sa décomposition le demi-volume d'oxygène manquant pour parfaire celui qui existe dans l'acide carbonique.

Cette manière de voir est purement hypothétique ; en effet, la décomposition de l'eau n'a jamais été démontrée (1). En outre, dans l'hypothèse précédente, on suppose que les deux résidus hydrogène et oxyde de carbone s'unissent pour former la première matière organique, point de départ de toutes les autres, matière qui, comme nous le verrons plus loin, est sans doute l'aldéhyde méthylique CH^2O, or quand on met au contact des feuilles éclairées un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène, on ne voit en aucune façon le volume du gaz diminuer.

Il semble dès lors qu'il faille représenter cette réaction fondamentale sous une autre forme ; on peut supposer que l'acide carbonique forme avec l'eau un hydrate CO^2H^2O et que c'est cet hydrate qui se décompose avec émission d'oxygène : $CO^2H^2O = O^2 + CH^2O$.

Quant à l'hypothèse de l'existence dans les feuilles d'un hydrate d'acide carbonique, elle n'est pas purement gratuite, car, dans les recherches qui ont été exposées dans le paragraphe précédent, nous avons vu que la quantité d'acide carbonique absorbée par les feuilles est un peu supérieure à celle qu'elles devraient renfermer si cette absorption était due à la seule solubilité de l'acide carbonique dans l'eau qu'elles contiennent.

Nous étudierons plus loin dans le chapitre consacré à la formation des principes immédiats la nature des substances qui prennent naissance pendant le travail chlorophyllien, il suffit, en ce moment, de rappeler que l'un de ces produits est l'amidon, dont la présence est souvent utile à constater pour apprécier l'énergie de l'assimilation.

Celle-ci est en relation étroite avec l'état de la feuille, avec la nature des radiations qui viennent la frapper, enfin avec la compo-

(1) Boussingault supposait que cette démonstration résultait de l'analyse de plantes développées dans un sol stérile, dans lequel l'hydrogène surpassait celui qui était nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène trouvé ; mais au moment où il émettait cette opinion, l'illustre agronome ne tenait pas compte des phénomènes de respiration ; si, ainsi qu'on le verra plus loin, il arrive souvent que l'acide carbonique émis pendant la respiration végétale surpasse l'oxygène absorbé, la plante perd sous forme d'acide carbonique une certaine quantité d'oxygène, et par suite l'hydrogène dosé dans la plante entière présente un excès sur celui qui correspond à l'oxygène total qu'elle renferme : le rapport de ces deux gaz au lieu d'être exactement $\frac{1}{8}$ est $> \frac{1}{8}$, non pas parce que la feuille a décomposé l'eau, mais parce que l'oxygène a été exhalé.

sition de l'atmosphère dans laquelle la feuille est placée et nous devons successivement passer en revue ces diverses conditions.

CONDITIONS NÉCESSAIRES A LA DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR LES FEUILLES.

§ 21. — Influence de l'état de la feuille.

Asphyxie. — Pour qu'une feuille décompose l'acide carbonique, il faut qu'elle soit vivante; si elle a été privée pendant quelques jours de l'action de l'oxygène, si elle a été plongée pendant un temps même peu prolongé dans un gaz inerte, elle périt et devient incapable de décomposer l'acide carbonique; c'est ce que j'ai eu occasion d'observer il y a déjà plusieurs années, à l'aide de plantes aquatiques, en les laissant dans l'eau ordinaire, mais en les maintenant dans l'obscurité. Après quelques jours, les feuilles ont absorbé tout l'oxygène dissous; placées ensuite au soleil, dans de l'eau chargée d'acide carbonique, elles ne dégagent plus une trace d'oxygène; elles ont été asphyxiées par leur séjour dans l'eau privée d'oxygène (1). Boussingault a reconnu également que des feuilles maintenues dans l'acide carbonique pendant plusieurs jours, puis exposées ensuite au soleil dans un mélange d'acide carbonique et d'air, n'émettaient pas d'oxygène.

Empoisonnement. — Les feuilles exposées à l'action des vapeurs mercurielles perdent la faculté de décomposer l'acide carbonique lorsqu'elles sont éclairées; cette curieuse propriété, observée déjà par une réunion de chimistes hollandais : Deïman, Paats, Van Troostwyck et Lauwenburgh, est facile à vérifier par l'expérience, en empruntant à M. Boussingault une méthode de recherches très élégante.

L'opération doit être conduite de la façon suivante : on prépare, sur l'eau, plusieurs cloches d'hydrogène, dans lesquelles on fait arriver un peu d'acide carbonique ; on y introduit un bâton de phosphore et un rameau garni de feuilles ; celui-ci entraîne toujours une petite quantité d'air, et le phosphore ne tarde pas à s'envelopper de fumées dues à la formation d'acide phosphorique et d'acide phosphoreux par la combustion lente du phosphore. En laissant les cloches ainsi préparées dans l'obscurité pendant une heure ou

(1) *Bulletin de la Société chimique*, t. II, p. 106, 1864.

deux, les vapeurs disparaissent par dissolution dans l'eau; quand l'atmosphère est bien transparente, on expose les cloches au soleil; les feuilles décomposent l'acide carbonique, produisent de l'oxygène qui attaque le phosphore, et les cloches se remplissent de vapeurs blanches; leur apparition est la preuve que l'action chlorophyllienne s'est exercée; or, si on répète les manipulations précédentes avec des feuilles qui sont restées exposées quelque temps à l'influence des vapeurs mercurielles, on voit la cloche rester transparente, ce qui montre qu'aucune décomposition ne s'est produite.

Quand on veut observer la décomposition de l'acide carbonique dans une atmosphère limitée par du mercure, il est donc indispensable de protéger les feuilles par une couche d'eau, ou par de la fleur de soufre dont l'action préservatrice a été observée par les chimistes hollandais cités plus haut et aussi par Boussingault (1).

Dessiccation. — Cet illustre agronome a reconnu depuis longtemps que l'état de dessiccation de la feuille exerce une influence marquée sur son aptitude à décomposer l'acide carbonique; il a donné les chiffres suivants :

	Eau retenue par la feuille.	Acide carbonique décomposé. Total en cent. cubes.	Par cent. carré en une heure.
Feuille normale	60	15.9	0.071
Dessiccation commencée..	36	10.8	0.045
— avancée.....	29	2.9	0.012
— absolue. ...	00	0.0	0.000

Plus récemment, M. Kreusler (2) a montré que l'activité de la décomposition de l'acide carbonique est étroitement liée à la bonne circulation de l'eau dans la plante.

L'auteur trouve, pour l'acide carbonique décomposé par 1 décimètre carré de feuilles, les chiffres suivants, qui se rapportent à des rameaux de seringa pris : A; avant la floraison; B, pendant la floraison; C, pendant la formation du fruit; D, sur un rameau stérile garni de vieilles feuilles :

		A	B	C	D
A. carb. total décomposé	à 25°.....	15.17	12.70	10.27	6.85
	à 15°.....	11.94	8.15	9.73	11.17

Il est visible qu'à 25° les jeunes feuilles A décomposent plus d'a-

(1) Boussingault, *Agron.*, t. IV, p. 267.
(2) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 89.

cide carbonique que les vieilles D, et que pour les premières l'activité de l'assimilation s'accroît avec l'élévation de la température, tandis qu'il en est autrement pour les vieilles feuilles.

M. Kreusler attribue ces différences aux quantités d'eau qui circulent dans la plante et que renferment les feuilles jeunes ou âgées. « Une perte d'eau qui est encore bien loin de causer la fanaison des feuilles déprime considérablement l'assimilation, et inversement un rameau qui a cessé d'assimiler, par suite d'une perte d'eau, reprend toutes ses facultés lorsqu'on le met à même de réparer ses pertes.

« Le taux de l'eau contenue dans les feuilles diminue ordinairement avec l'âge; les vieilles feuilles sont donc, en général, moins favorisées sous le rapport de l'énergie assimilatrice. »

L'auteur montre, en effet, que les rameaux qui ont servi aux expériences précédentes sont bien loin d'absorber l'eau en quantités égales aux deux températures considérées; on en jugera par les chiffres suivants; la ligne du haut indique en milligrammes les quantités d'eau absorbées par les rameaux; celle du bas l'absorption à 25°, celle à 15° étant faite égale à 100.

	A		B		C		D	
	25°	15°	25°	15°	25°	15°	25°	15°
Milligr. d'eau absorbée...	39	19	76	34	40	25	24	26
Rapports.....	205	100	224	100	160	100	92	100

Bien que le parallélisme ne soit pas complet, il est visible que la quantité d'eau contenue dans la feuille exerce une influence décisive, due sans doute à ce que, plus la feuille est aqueuse, plus elle absorbe aisément l'acide carbonique, ainsi que nous l'avons reconnu M. Maquenne et moi (1).

On conçoit, d'après les considérations précédentes, combien les sécheresses prolongées, pendant lesquelles l'équilibre entre la transpiration et l'absorption est facilement rompu, sont préjudiciables à la formation des hydrates de carbone qui prennent naissance dans la cellule à chlorophylle.

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 526.

§ 22. — Action différente des deux côtés de la feuille.

Dans les beaux mémoires qu'il a publiés sur les fonctions des feuilles, M. Boussingault a étudié l'action qu'exerce sur l'acide carbonique chacun des deux côtés de la feuille. Cette étude présentait ce genre particulier d'intérêt, qu'elle était de nature à éclairer une des questions les plus controversées de la physiologie végétale, à savoir : le rôle des stomates. En général, ces petites ouvertures ne sont pas distribuées également des deux côtés de la feuille : les feuilles nageant sur l'eau n'ont de stomates qu'à leur face supérieure en contact avec l'air; toutes celles qui sont complètement immergées (*Potamogeton*) ont un épiderme qui en est dépourvu; dans la plupart des feuilles affectant une situation horizontale les stomates ne sont nombreuses qu'à la face inférieure ; chez les feuilles à situation verticale, elles apparaissent sur les deux faces.

Si l'absorption des gaz et des vapeurs avait lieu par les stomates, on serait naturellement porté à conclure que le côté du limbe où elles sont les plus nombreuses, agit plus énergiquement sur l'atmosphère que le côté opposé où elles sont rares. L'expérience n'enseigne pas, cependant, que les stomates aient l'influence qu'on serait tenté d'abord de leur accorder.

Ingenhousz croyait avoir remarqué que lorsqu'elles sont plongées dans de l'eau de source les feuilles fournissent un air plus pur, si le soleil donne sur leur surface vernissée, que lorsque leur surface inférieure reçoit l'influence directe de la lumière; mais cette observation était évidemment faite dans des conditions peu rigoureuses. M. Boussingault, pour constater comment se comporte un seul côté du limbe que l'on expose au soleil, dans un milieu gazeux renfermant de l'acide carbonique, plaça l'un d'eux à l'abri de la lumière, soit en y collant, à l'aide d'une très légère couche d'empois, une bande de papier noirci et absolument opaque, ainsi qu'on s'en était assuré en plaçant la feuille préparée sur un papier photographique exposé au soleil, soit en prenant deux feuilles de même dimension dont on réunissait les surfaces similaires avec de la colle d'amidon. Dans les deux cas, les feuilles étaient préparées au moment où l'on allait les introduire dans les appareils contenant les mélanges gazeux.

De ses expériences, M. Boussingault a tiré les conclusions suivantes : La face supérieure des feuilles épaisses, rigides, des lau-

riers, a décomposé plus de gaz acide carbonique que la face inférieure, l'envers. Au soleil, la plus grande différence a été dans le rapport de 4 à 1, la plus faible :: 1 $\frac{1}{2}$: 1. Le rapport moyen serait celui de 102 : 46. A l'ombre, la différence n'a pas dépassé 2 : 1, et dans une des expériences il y a eu égalité. Les trois observations faites à la lumière diffuse donneraient, en moyenne et approximativement, le rapport 4 : 3.

« Pour les feuilles de laurier, soit au soleil, soit à l'ombre, dans la moitié des observations, la somme des volumes du gaz acide carbonique décomposé par chacune des faces du limbe, agissant séparément, a excédé le volume de l'acide carbonique décomposé par les deux faces du limbe fonctionnant simultanément. Dans l'autre moitié, la somme des volumes d'acide décomposé séparément par chacun des côtés de feuilles placées dans des appareils distincts a été égale au volume d'acide décomposé par les deux côtés d'une seule et même feuille.

« Le volume d'acide carbonique décomposé par l'endroit et par l'envers de la feuille de framboisier a été :: 2 : 1. Pour la feuille du *Populus alba*, on trouve le rapport de 6 à 1, ce qui n'a pas lieu de surprendre, puisque, à cause de l'enduit cotonneux blanc dont elle est revêtue, la partie inférieure est en quelque sorte à l'abri de la lumière. Pour le framboisier, de même que pour les lauriers, la somme des volumes de gaz acide décomposé séparément par la face supérieure et par la face inférieure a excédé de beaucoup le volume d'acide carbonique que les deux faces ont décomposé quand elles appartenaient à une feuille unique.

« Les feuilles à parenchyme très mince, comme les précédentes, mais ne présentant pas de différence de teinte sensible sur les deux faces, n'ont pas réduit sensiblement plus d'acide carbonique par leur partie supérieure que par leur partie inférieure. C'est surtout vrai pour les feuilles de maïs, dont la structure anatomique, la nuance, sont les mêmes pour les deux côtés du limbe. »

Pour expliquer cette différence des actions qu'exercent souvent les deux limbes des feuilles, M. Barthélemy (*Comptes rendus*, 1868, t. LXVII, p. 520) a recours aux observations importantes de Graham sur la diffusion colloïdale. L'illustre savant anglais a montré que la vitesse de pénétration des gaz au travers d'une membrane colloïdale, comme le caoutchouc, était très variable : tandis que la vitesse de pénétration de l'azote est représentée par 1, celle de l'acide carbonique est 13.5. On sait qu'au contraire les gaz pas-

sent, au travers de membranes poreuses, avec une vitesse qui diminue à mesure qu'ils sont plus denses. Graham a trouvé que cette vitesse est en raison inverse du carré de la densité. On conçoit donc que l'acide carbonique, dont la densité est considérable (1,529), pénètre moins bien au travers de l'envers de la feuille, surface poreuse percée de stomates, qu'au travers de la cuticule qui couvre l'endroit, et que M. Barthélemy considère comme ayant plutôt une structure colloïdale comparable à celle du caoutchouc. On trouverait, dans ces considérations ingénieuses, l'explication du fait observé par M. Boussingault, à savoir, qu'en général l'envers des feuilles dégage moins d'oxygène que l'endroit.

§ 23. — Influence de la composition de l'atmosphère.

La quantité d'acide carbonique contenue dans l'air est si faible, qu'il était assez naturel de supposer qu'il y aurait avantage à faire vivre les plantes dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique.

Si on se borne à déterminer la quantité d'oxygène produite dans un temps donné par des feuilles éclairées, on trouve que cette quantité augmente avec la richesse en acide carbonique de l'atmosphère dans laquelle les plantes végètent.

M. Kreusler (1) s'est servi d'un arc voltaïque de 1000 bougies placé à la distance de $0^m,31$ à $0^m,45$, des rameaux, mais séparé d'eux par une auge remplie d'eau pour arrêter les rayons calorifiques. Les expériences ont porté sur des rameaux de charme, de ronce, de capucine ou de châtaignier.

La quantité d'acide carbonique la plus favorable à l'assimilation est comprise entre 1 et 10 p. 100; c'est aussi ce qu'avait trouvé Th. de Saussure.

Il avait observé, en outre, que la décomposition de l'acide carbonique est très lente dans une atmosphère formée de ce gaz pur. Boussingault a exécuté sur ce sujet un grand nombre d'expériences (2); elles démontrent également que la présence d'un gaz inerte qui dilue l'acide carbonique favorise la décomposition de ce gaz, très faible, ainsi qu'il a été dit, dans l'acide carbonique pur, maintenu à la pression ordinaire. Si l'on diminue la pression la décomposition s'accélère, en effet, le gaz est non seulement plus dilué, mais en outre plus impur par suite de la diffusion des gaz

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 482.
(2) *Agron.*, t. IV, p. 267. Les fonctions des feuilles.

contenus dans la feuille, qui s'échappent des méats et se répandent dans l'atmosphère d'autant plus aisément que la pression est plus faible.

Quand au lieu de chercher la quantité d'oxygène émise par les feuilles dans une atmosphère chargée artificiellement d'acide carbonique, on veut maintenir les plantes dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique, de façon à y suivre leur développement, on rencontre des difficultés assez sérieuses, et les essais qui ont été tentés au muséum n'ont pas fourni de résultats favorables (1).

Le seul point que démontrèrent nettement les expériences est l'extrême abondance de l'amidon dans les feuilles de quelques espèces qui avaient vécu dans des atmosphères enrichies d'acide carbonique. Ainsi un *Ageratum cæruleum* maintenu sous une cloche, dans de l'air renfermant de l'acide carbonique accusait dans 100 de matière sèche 9,1 d'amidon, tandis qu'il n'y en avait que 6,8 dans une plante qui avait vécu dans l'air normal. Quand on opère sur une plante comme le tabac qui accumule facilement de l'amidon dans ses feuilles, on en trouve après végétation, dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique, une telle profusion, qu'il est facile de le séparer par des lavages comme on le fait pour l'extraction de la fécule des pommes de terre.

§ 24. — De l'action qu'exercent les radiations lumineuses et calorifiques sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles.

Comme tous les organes des végétaux, les feuilles respirent en absorbant de l'oxygène et en émettant de l'acide carbonique; ce phénomène dont les manifestations sont opposées à celles qui accompagnent l'assimilation du carbone n'est habituellement apparent que lorsque les radiations lumineuses font défaut, de là l'expression incomplète si souvent répétée : les plantes émettent de l'oxygène pendant le jour et de l'acide carbonique pendant la nuit. En réalité la respiration : l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique ne sont jamais interrompues mais seulement masquées par les phénomènes contraires; il est facile de montrer, en effet, que les feuilles éclairées émettent de l'acide carbonique, en répétant la célèbre expérience de Garreau (2).

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 385.
(2) *Ann. des sc. nat. bot.*, 4e série, t. XVI, p. 280, 1851.

Expériences de Garreau. — Il fait pénétrer dans un flacon susceptible d'être hermétiquement bouché un rameau feuillu attenant à l'arbuste choisi, un tube permet d'introduire dans le vase de l'eau de baryte; un autre tube sert de manomètre.

En plein soleil, par une température de 20 à 25°, l'eau de baryte se trouble, et les rameaux dégagent dans l'espace de trois à six heures de 8 à 36 centimètres cubes d'acide carbonique recueillis dans l'eau de baryte qui blanchit rapidement.

Si on ne soustrait pas l'acide carbonique, aussitôt qu'il est formé, à l'action décomposante des cellules à chlorophylle en le précipitant par l'eau de baryte, la respiration n'est pas apparente.

Dans l'expérience précédente, elle est au reste exagérée par l'élévation de température qui se produit dans le flacon insolé, car la respiration est d'autant plus active que la température extérieure est plus élevée; et l'on conçoit que si pour étudier l'assimilation on place des feuilles dans des tubes où la température puisse s'élever par une insolation directe, on ne voit pas la décomposition d'acide carbonique s'accélérer en raison de l'intensité lumineuse : la respiration devenant de plus en plus active à mesure que la température s'élève, la différence entre les deux actions opposées devient plus faible.

Expériences de MM. Dehérain et Maquenne. — En opérant avec diverses sources renfermant en proportions variables les radiations calorifiques et lumineuses on réussit à montrer l'influence opposée qu'exercent la chaleur et la lumière sur l'assimilation, plus facilement qu'en exposant les feuilles au soleil.

Les recherches que nous allons résumer présentaient, en outre, cet intérêt particulier, qu'on ignorait encore, au moment où elles ont été publiées, que les lumières artificielles sont capables de provoquer la décomposition de l'acide carbonique (1).

On réussit très facilement à démontrer cette décomposition pendant la courte durée d'une leçon, en plaçant les feuilles dans une atmosphère d'hydrogène et d'acide carbonique, en y ajoutant un petit bâton de phosphore; après un quart d'heure d'exposition à l'action de la lumière de Drummond, les fumées d'acide phosphorique annonçant que la décomposition a eu lieu sont visibles.

Pour montrer la différence d'action des diverses radiations, on a employé comme sources lumineuses : la lumière de Drummond

(1) *Ann. agron.*, t. V, p. 401, 1879.

(chaux rendue incandescente par un chalumeau oxhydrique), ou la lampe Bourbouze (toile de platine portée au rouge blanc par la combustion du gaz alimenté par un courant d'air); le faisceau lumineux agit sur des feuilles, placées dans un tube contenant une atmosphère enrichie d'acide carbonique, le tube lui-même est maintenu dans un manchon renfermant un liquide.

Les liquides employés ont été l'eau, la benzine et le chloroforme, tous trois également transparents, mais inégalement diathermanes, c'est-à-dire susceptibles de retenir des quantités variables de la chaleur émise par les sources, et comme celles-ci envoient des faisceaux qui sont loin d'être identiques, que celui de la lampe Bourbouze renferme beaucoup plus de radiations calorifiques que celui de la lumière de Drummond, on peut, en combinant successivement l'action des deux lumières et celle des trois liquides, faire prédominer à volonté les radiations lumineuses ou les radiations calorifiques et obtenir soit la décomposition de l'acide carbonique et l'apparition de l'oxygène, soit inversement l'absorption de l'oxygène et l'enrichissement de l'atmosphère en acide carbonique.

Quand on emploie la lumière Drummond pauvre en radiations calorifiques, on observe toujours le phénomène d'assimilation, mais il est bien plus sensible quand le manchon renferme de l'eau qui retient complètement les radiations calorifiques que lorsqu'il contient de la benzine ou du chloroforme qui en laissent passer une partie.

Avec la lampe Bourbouze, le renversement du phénomène est complet, quand le manchon renferme de l'eau, les feuilles assimilent, l'acide carbonique diminue et l'oxygène augmente; quand il renferme de la benzine, les feuilles respirent : l'oxygène diminue et l'acide carbonique augmente.

Voici au reste un des résultats constatés :

	Le manchon dans lequel sont immergés les tubes renfermant la feuille et l'atmosphère à modifier est rempli d'eau.		de benzine.	
Lumière Drummond.				
Acide carbonique disparu...	8cc,47		4cc,47	
Oxygène apparu.....	7 ,78		4 ,79	
Lampe Bourbouze.				
Acide carbonique.....	disparu.	5cc,48	apparu..	1cc,74
Oxygène.....	apparu..	4 ,90	disparu.	2 ,18

Quand on substitue à la benzine un liquide beaucoup moins diathermane qu'elle, le chloroforme, par exemple, la lumière Drummond provoque tantôt une très faible décomposition et tantôt une production d'acide carbonique ; avec la lampe Bourbouze, le phénomène de respiration l'emporte nettement sur celui d'assimilation, l'atmosphère s'appauvrit en oxygène et s'enrichit d'acide carbonique (1).

Moyenne de cinq expériences.

	Manchon renfermant de l'eau.	Manchon renfermant du chloroforme.
Lumière Drummond.		
Acide carbonique disparu.....	9.66	1.35
Oxygène apparu.....	9.79	0.20
Lampe Bourbouze.		
A. carbonique (apparu +, disparu —).	— 0.62	+ 1.84
Oxygène (apparu +, disparu —).....	+ 0.76	— 1.47

Quand dans ces expériences on opère avec la benzine, il faut entourer les feuilles en expériences d'un manchon où l'on fait circuler le liquide assez rapidement pour qu'il ne s'échauffe pas ; il faut en outre que les appareils soient rigoureusement fermés pour éviter que des fuites ne provoquent l'inflammation du liquide qui ne serait pas sans danger.

Cette influence si marquée des radiations calorifiques permet de concevoir que M. Famitzin ait souvent trouvé que des feuilles, placées dans des tubes protégés contre les radiations directes par des étuis de papier, dégagent autant d'oxygène que celles qui sont éclairées directement, et que Boussingault ait observé également des dégagements d'oxygène aussi énergiques à la lumière diffuse qu'au soleil.

Expériences de M. Kreusler. — Dans un travail important publié récemment, et auquel nous avons eu occasion déjà de faire quelques emprunts, M. Kreusler (2) a étudié l'action très diverse qu'exerce l'élévation de la température sur l'assimilation et la respiration. Si l'on fait la grandeur de la respiration et celle de l'assimilation observées à la plus basse température égale à l'unité, on aura pour les feuilles de ronce les progressions suivantes :

(1) *Ann. des sc. natur. bot.*, 6e série, t. X, p. 62.
(2) *Ann. agron.*, t. XII, p. 684.

Température.	Intensité de la respiration.	Intensité de l'assimilation.
2°,3	1.0	1.0
7 ,5	1.8	1.6
11 ,3	3.0	2.4
15 ,8	4.6	2.8
20 ,6	4.8	2.6
25 ,0	7.8	2.9
29 ,3	8.8	2.4
33 ,8	12.1	2·4
37 ,3	14.4	2.3
41 ,7	19.1	2.8
46 ,6	26.4	1.3

On voit nettement que si on représentait par des courbes l'énergie de la respiration et celle de l'assimilation, en prenant pour abscisse les températures et en portant sur les ordonnées les quantités d'acide carbonique émises ou décomposées, ces courbes auraient des allures très différentes.

La courbe de respiration est fortement convexe vers l'axe des abscisses (1), tandis qu'au contraire la courbe de l'assimilation s'élève rapidement en partant des basses températures arrive à un optimum, reste presque horizontale de 11°,3 à 41°,8 puis s'abaisse doucement.

Les observations précédentes montrent que les sources artificielles employées à la décomposition de l'acide carbonique sont en général très chargées de radiations calorifiques; or celles-ci exaltent la respiration jusqu'à lui faire masquer l'assimilation, d'où l'opinion, que les lumières artificielles étaient incapables de déterminer la décomposition de l'acide carbonique.

Il n'en est plus ainsi avec la lumière électrique. Ce ne sont plus les radiations calorifiques qu'il faut craindre, mais au contraire les radiations violettes désignées parfois sous le nom de rayons chimiques et nous avons vu que lorsqu'on emploie un régulateur de charbon, il faut préserver les feuilles contre les radiations violettes en entourant l'arc d'enveloppes de verre.

La lumière électrique est assez énergique pour que la décomposition de l'acide carbonique puisse encore s'observer, quand on place la source à une certaine distance des plantes; avec l'arc évalué à 2,000 bougies que j'ai employé en 1881, à l'exposition d'électricité, j'ai pu obtenir de l'*Elodea canadensis*, immergé dans l'eau

(1) C'est au reste ce que nous avons observé depuis longtemps, M. Moissan et moi (*Ann. des sc. nat. bot.*, 5e série, t. XIX, p. 321).

d'un flacon éloigné de 2 mètres de la source, dans un cas : 22 centimètres cubes et dans l'autre 26 centimètres cubes d'oxygène. Quand on la fait agir à la faible distance, de $0^m,30$ à $0^m,40$ la lumière électrique exerce des actions semblables à la lumière solaire (1).

§ 25. — Influence des diverses radiations lumineuses.

Nous venons de montrer par l'exposé des nombreuses expériences précédentes que les radiations calorifiques exercent sur les feuilles une action opposée aux radiations lumineuses ; tandis que les radiations chaudes et obscures favorisent la respiration, c'est-à-dire l'absorption de l'oxygène et l'émission d'acide carbonique, les radiations lumineuses déterminent la décomposition de cet acide carbonique ; nous rappelons, en outre, que les radiations violettes les plus réfrangibles, abondantes dans la lumière électrique émanée d'un régulateur à charbons altèrent la chlorophylle. Ces faits montrent déjà que toutes les radiations sont bien loin d'avoir sur les organes à chlorophylle des actions semblables, et il était dès lors naturel de chercher si toutes les radiations lumineuses, qui par leur réunion constituent la lumière blanche, agissent avec la même énergie, ou bien si, au contraire, la décomposition de l'acide carbonique était particulièrement favorisée par quelques-unes d'entre elles.

La méthode la plus simple pour étudier cette importante question consiste à placer les plantes en expériences, dans des vases où n'arrive qu'une lumière modifiée par son passage au travers d'un verre ou d'une dissolution colorée ; c'est ainsi qu'ont opéré : Cloëz et Gratiolet, MM. Sachs, Cailletet, Prilleux et que nous avons agi nous-mêmes. Cette méthode n'est qu'approximative, car il est très difficile d'avoir des verres colorés ou des liquides qui ne laissent passer qu'une seule espèce de lumière ; en utilisant ce procédé, on reconnaît cependant que les rayons orangés sont beaucoup plus efficaces que les bleus et les verts.

En opérant avec une plante aquatique le *Potamogeton crispus*, j'ai obtenu les quantités de gaz suivantes de 20 grammes de plantes immergées dans une dissolution faible d'acide carbonique et exposées au soleil dans des dissolutions diversement colorées.

(1) Kreusler, *Ann. agr.*, t. XII, p. 484.

Couleur et nature de la dissolution.	Gaz recueilli en cent. cubes.
Jaune (chlorure de fer)	67.0
Rouge (carmin dans l'ammoniaque)	43.4
Bleue (sulfate de cuivre ammoniacal)	14.1
Verte (chlorure de cuivre)	10.4

Les expériences exécutées à l'aide du spectre solaire sont plus rigoureuses; les premières en date ont été exécutées par Draper qui a dirigé les rayons du spectre convenablement dispersés sur des éprouvettes remplie d'eau distillée chargée d'acide carbonique, dans lesquelles étaient placées des plantes de même espèce, assez semblables pour décomposer sensiblement la même quantité de gaz dans le même temps, sous l'influence de la lumière solaire ordinaire. Il reconnut que les rayons lumineux qui déterminent avec le plus d'énergie l'action réductrice des végétaux sont situées entre le jaune et le vert.

C'est ce que montrent les résultats suivants :

	Volumes gazeux dégagés en même temps.	
	1re exp.	2e exp.
Rouge intense	0.33	»
Rouge et orangé	20.00	24.75
Jaune et vert	36.00	43.75
Vert et bleu	0.13	4.10
Bleu	»	1.00
Indigo	»	»
Violet	»	»

On ne saurait manquer de remarquer que les rayons qui déterminent avec le plus d'énergie la décomposition de l'acide carbonique sont précisément ceux qui correspondent à la bande noire qui caractérise la partie gauche du spectre de la chlorophylle; n'y aurait-il pas là une relation étroite de cause à effet? Cette hypothèse signalée par M. E. Becquerel, par Jamin, a été l'objet d'un travail mémorable d'un physiologiste russe : M. Timiriazeff.

Expériences de M. Timiriazeff. — Il a surmonté les difficultés inhérentes à ce genre de travail dans lequel on n'obtient de précision, qu'en opérant avec un spectre de petites dimensions, en imaginant de nouvelles méthodes de mesurer et d'analyser les gaz; il a pu n'employer que de très petites surfaces décomposantes taillées dans une même feuille et les placer dans des tubes étroits séparés

les uns des autres par des écrans et éclairés par des parties bien pures du spectre solaire (1).

« Pour éviter les effets de la diffusion de lumière latérale, les éprouvettes séparées les unes des autres par des cloisons de carton noirci ne recevaient que les rayons qui lui étaient destinés. Les éprouvettes étaient exposées dans le spectre comme suit : la

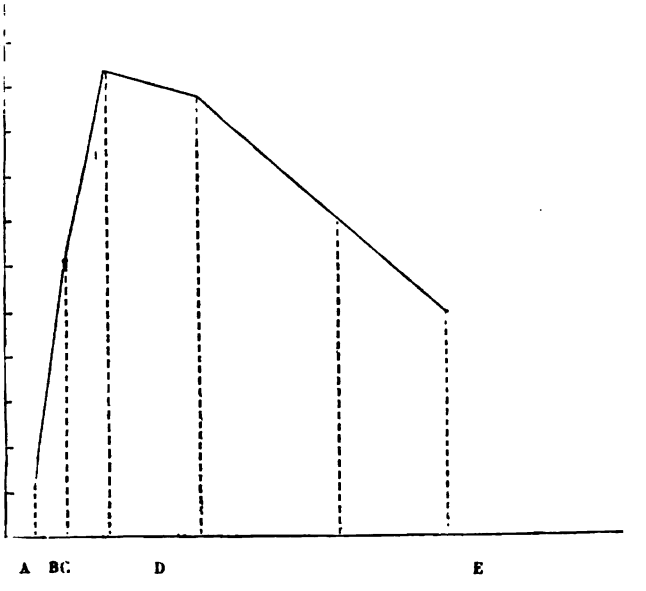


Fig. 21. — Décomposition de l'acide carbonique par les feuilles soumises à diverses radiations lumineuses (M. Timiriazeff).

première était dans le rouge extrême, qui n'est pas absorbé par la chlorophylle, la seconde occupant la partie du rouge entre B et C, qui correspond à la bande d'absorption caractéristique de la chlorophylle, la troisième dans la partie correspondant à la seconde bande d'absorption, la quatrième dans la partie jaune qui correspond au maximum d'intensité lumineuse, la cinquième dans le vert un peu à gauche de la quatrième bande d'absorption de la chlorophylle.

Après l'insolation qui durait cinq ou six heures, on procédait aux analyses. Si on compare la courbe ci-jointe qui indique la quantité d'acide carbonique disparu dans les diverses éprouvettes au spectre d'absorption des rayons par la chlorophylle (fig. 16), on arrive à cette conviction que les rayons efficaces pour déterminer dans la

(1) *Ann. de ch. et de phys.*, 5e série, t. XII, p. 355.

partie gauche du spectre la décomposition de l'acide carbonique sont bien les rayons absorbés par la chlorophylle.

Expériences de M. Reinke (1). — M. Reinke n'a pas soumis à l'analyse les atmosphères modifiées par le séjour des feuilles, il a seulement compté le nombre des bulles de gaz dégagé dans un temps donné par la section d'une plante aquatique submergée dans une dissolution faible d'acide carbonique, méthode imaginée par M. Sachs et qui s'est trouvée plus exacte qu'on ne pouvait le penser *à priori*. M. Reinke reçoit sur un prisme un rayon lumineux rendu fixe et horizontal par un héliostat; le spectre obtenu est dirigé sur un écran formé de deux planchettes verticales qu'on peut rapprocher ou écarter à volonté, de façon à ne laisser passer entre elles que les rayons à utiliser; ceux-ci sont reçus sur une grande lentille convergente qui donne à quelque distance une image colorée de la fente d'introduction, blanche si on recueille tout le spectre, colorée si on en a éliminé par les écrans quelque partie. Une dernière difficulté reste à surmonter : il faut donner aux images de diverses couleurs une égale intensité lumineuse. Pour y réussir, on place devant l'écran une échelle des longueurs d'onde adaptées à la dispersion du prisme employé. Dans la partie rouge du spectre les traits de cette échelle étant beaucoup plus rapprochés que dans la partie violette, on voit de suite que pour obtenir une image violette de même concentration que l'image rouge, il faudra recueillir sur la lentille collectrice une largeur décuple, par exemple, de celle qu'il eût fallu prendre dans le rouge. Le maximum de dégagement d'oxygène coïncide avec le maximum d'absorption de la chlorophylle, il se trouve dans le rouge non loin de la raie B; la courbe descend rapidement vers l'ultra-rouge, plus lentement vers le violet; bien que les radiations de la partie droite du spectre soient très bien absorbées, elles ne présentent aucune efficacité.

Expériences de M. Engelmann. — Le savant professeur de l'université d'Utrecht a profité, pour étudier l'émission d'oxygène par les feuilles dans différentes parties du spectre, de l'influence qu'exerce ce gaz sur la mobilité de la bactérie ordinaire de la putréfaction, et notamment de la forme la plus petite : le *bacterium termo*.

L'oxygène est nécessaire à l'état mobile de ces organismes; dans

(1) *Ann. agr.*, t. X, p. 136.

une goutte d'eau, recouverte de la lamelle mince habituellement employée pour les observations microscopiques, elles se dirigent en masse vers les bords; lorsque la goutte d'eau emprisonne des bulles d'air, on voit les bactéries se réunir autour d'elles; dans un courant d'hydrogène pur, au contraire, tout mouvement s'arrête. Lorsque ce mouvement est suspendu par absence d'oxygène et qu'on introduit, au milieu du liquide chargé de bactéries, des fragments de conferves ou quelques algues, on voit les bactéries s'accu-

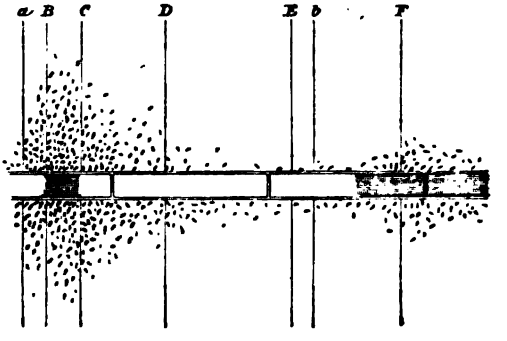


Fig. 22. — Expérience de M. Engelmann.

muler autour de ces corps, aussitôt qu'un rayon lumineux a provoqué un dégagement d'oxygène, tandis que les bactéries éloignées et soustraites à son influence restent immobiles.

Si ensuite on obscurcit le champ du microscope en ne laissant que la lumière strictement nécessaire pour apercevoir les bactéries, on voit celles-ci s'arrêter aussitôt et souvent se disperser dans le liquide ambiant par simple mouvement brownien; en ramenant la lumière, on provoque de nouveau instantanément le mouvement et les petits organismes s'accumulent de nouveau autour des algues vertes, de telle sorte que la conviction s'impose que c'est l'oxygène dégagé par les algues qui provoque leur mouvement.

M. Engelmann utilise ces connaissances préliminaires de la façon suivante : il dispose au-dessous du porte-objet un petit prisme sur lequel il envoie un rayon lumineux; il obtient ainsi un spectre microscopique qui vient se projeter sur la lame de verre.

Imaginons maintenant qu'un filament d'algue verte soit étendu sur la lame de verre, et que le liquide légèrement chargé d'acide carbonique soit peuplé de bactéries, il est manifeste que si les diverses radiations du spectre sont inégalement efficaces pour pro-

voquer la décomposition de l'acide carbonique, le dégagement d'oxygène ne sera pas uniforme sur toute la longueur du filament éclairé, mais qu'il sera plus abondant en certaines régions, moindre en d'autres et que les bactéries viendront s'accumuler aux points où ce dégagement sera plus actif.

« La fente qui amène la lumière étant d'abord fermée, on l'entr'ouvre légèrement, et on voit le mouvement des bactéries commencer dans le rouge, généralement entre les raies B et C dans le voisinage de la raie C. Si on augmente ensuite l'intensité de l'éclairage, on le voit s'étendre peu à peu des deux côtés de ce point central jusqu'au commencement de l'ultra-rouge et jusque dans le violet, mais il est le plus vif dans le rouge...

« Lorsque le liquide de la préparation est chargé d'une grande quantité de bactéries, on obtient ainsi une véritable représentation graphique de l'influence de la longueur d'onde sur la décomposition de l'acide carbonique, l'axe des abscisses est figuré par l'objet lui-même et les ordonnées par l'épaisseur de la couche de bactéries qui le recouvre, ainsi que le montre la figure 22 (1).

Elle indique, d'après l'auteur, un second maximum situé dans le bleu, qui aurait échappé aussi bien à M. Timiriazeff qu'à M. Reinke.

Dans un mémoire intitulé *Couleur et assimilation* (2), M. Engelmann, en opérant non seulement avec des plantes vertes, mais avec d'autres dont le pigment est diversement coloré, est arrivé aux conclusions suivantes :

Pour les cellules vertes le maximum absolu de l'assimilation, situé dans le rouge entre B et C, correspond à la première et à la plus forte bande d'absorption de la chlorophylle, tandis que l'extrême rouge peu absorbé n'agit que faiblement. Le minimum dans le vert entre E et C coïncide avec le minimum du coefficient d'absorption ; le second maximum, très fort dans le bleu, à la raie F tombe sur le commencement de la grande absorption de l'extrémité droite du spectre (voy. fig. 20).

Pour les cellules brunes (*Melosira*, *Navicula*, *Pinnularia*) le premier maximum très fort dans le rouge entre B et C correspond à la première bande d'absorption, le minimum dans l'orangé et le jaune à la plus grande transparence de ces cellules; le maximum absolu tombe dans le vert entre D et C, rayons également très fortement

(1) *Ann. agron.*, t. VIII, p. 464.
(2) *Ann. agron.*, t. IX, p. 78.

absorbés. A partir de ce point l'assimilation baisse très lentement; en effet les rayons bleus et violets sont fortement absorbés.

Pour les cellules bleues (*Oscillaria*), le maximum tombe dans le jaune; enfin pour les cellules rouges des *floridées*, nous trouvons le maximum de l'assimilation dans le vert, couleur la plus fortement absorbée par la phycoérythrine; le minimum est dans le rouge entre C et D; un second maximum dans le bleu à la raie F correspond à une absorption un peu plus forte de ces rayons.

L'auteur résume ses élégantes recherches par les deux conclusions suivantes :

1° Les rayons lumineux agissent d'autant plus fortement sur l'assimilation qu'ils sont plus fortement absorbés.

2° Ce sont toujours les rayons complémentaires de la couleur des plantes qui agissent avec le plus d'efficacité.

Le mode d'opérer de M. Engelmann n'a pas été accepté par tous les physiologistes, M. Pringsheim (1) notamment a vivement attaqué ses conclusions; d'autre part M. Reinke (2) n'a pas trouvé pour les plantes vertes le second maximum constaté par Engelmann dans la partie bleue du spectre.

Résumé des travaux relatifs à l'influence de diverses radiations sur l'assimilation du carbone. — Les radiations à la fois chaudes et lumineuses qui tombent sur les feuilles y excitent la *respiration*, c'est-à-dire l'absorption de l'oxygène et l'émission d'acide carbonique, et l'*assimilation*, c'est-à-dire l'absorption de l'acide carbonique et l'émission d'oxygène; l'expérience de M. Garreau prouve que ces deux phénomènes se produisent simultanément (page 89).

Quand on dispose l'expérience de façon à favoriser l'arrivée sur la feuille des radiations calorifiques en laissant constantes les radiations lumineuses, on peut voir des feuilles éclairées dégager de l'acide carbonique (Expériences MM. Dehérain et Maquenne.

Dans la lumière solaire, les radiations lumineuses dominent, les plantes qui y sont exposées, en plein air, croissent en gagnant du carbone; l'assimilation l'emporte sur la respiration.

Toutes les radiations lumineuses ne sont pas également efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique.

Celles qui agissent surtout sont les radiations orangées, qui possèdent à la fois les deux propriétés d'être : très bien absor-

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 343.
(2) *Ann. agron.*, t. X, p. 137.

bées par la chlorophylle, et animées d'une force vive suffisante pour fournir au grand travail endothermique de la décomposition de l'acide carbonique hydraté.

Les radiations de la partie droite, bien absorbées par la chlorophylle, ne renferment pas assez de force vive pour décomposer l'acide carbonique, mais elles exercent d'autres actions.

26. — De l'action qu'exercent sur les végétaux les radiations de la partie droite du spectre.

Ces radiations funestes, quand elles dominent, ainsi qu'il a été dit (page 68), ne paraissent pas être cependant sans utilité : il résulte, en effet, d'un travail publié récemment par M. Sachs (1) que si on éclaire une plante telle que la capucine avec une lumière privée des rayons ultra-violets, par son passage au travers d'une dissolution de sulfate de quinine, on empêche l'apparition des fleurs. En 1886, vingt plantes végétant derrière un écran ne renfermant que de l'eau ont produit cinquante-six fleurs, vingt plantes éclairées par la lumière qui avait passé au travers de l'écran à sulfate de quinine n'en ont donné qu'une seule. L'auteur résume ses observations en disant :

« Il semble qu'il y ait dans le spectre trois régions physiologiquement distinctes : les rayons jaunes et les parties voisines agissant sur l'assimilation, les rayons bleus et violets régissant les mouvements (héliotropisme) tandis que les rayons ultra-violets présideraient à la formation des fleurs.

§ 27. — Assimilation du carbone a l'état de matière organique.

Un certain nombre de plantes, notamment les graminées, blé, avoine, peuvent accomplir toutes les phases de leur développement, quand elles sont enracinées dans un sable stérile, absolument dépouillé de matières organiques, mais pourvu de nitrates, de phosphates, de silicates, de sels renfermant de la chaux, de la magnésie, de la potasse, des traces de fer; dans ce cas tout le carbone contenu dans les tissus provient de l'acide carbonique aérien, et comme le poids des plantes obtenu sur la surface des terres en expériences, rapporté à l'hectare, conduit à des récoltes très abon-

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 480.

dantes, on peut en conclure que ces plantes n'ont nul besoin de trouver dans le sol des matières organiques ; M. Georges Ville, plus récemment M. Pagnoul ont donné des exemples de ces sortes de culture uniquement soutenues par des matières saturées d'oxygène.

En est-il de même pour tous les végétaux à chlorophylle? L'expérience semble indiquer au contraire que certaines espèces végétales ne se développent que faiblement dans des sols dépourvus d'humus, et par suite, que leur carbone provient non seulement de l'acide carbonique aérien, mais en outre de la matière organique du sol ; comme l'humus, la matière organique de la terre arable est toujours azoté, cette matière organique est aussi bien une source d'azote que de carbone et l'assimilation des matières organiques sera discutée avec les développements qu'elle mérite dans le chapitre suivant.

§ 28. — RÉSUMÉ. — LA DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR LES FEUILLES EST L'ORIGINE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE A LA SURFACE DE LA TERRE.

Essayons de résumer maintenant les points essentiels développés dans ce chapitre.

Grâce à l'énorme quantité d'eau qu'elles renferment, grâce à leur structure même, les feuilles offrant une grande surface à l'atmosphère s'emparent de l'acide carbonique aérien en le dissolvant dans l'eau qui gorge leurs cellules.

Soumises à l'action de la lumière, les feuilles décomposent cet acide carbonique dissous et rejettent un volume d'oxygène égal à celui de l'acide carbonique absorbé ; elles conservent le carbone qui, s'unissant à l'eau, forme les matières ternaires, les hydrates de carbone.

Nous exposerons dans le chapitre consacré à la *formation des principes immédiats* l'apparition successive de ces matières, insistons seulement ici sur la décomposition de l'acide carbonique.

Il est visible que la quantité de chaleur *dégagée* au moment où nous brûlons 1 gramme du carbone dans l'oxygène est exactement égale à la quantité de chaleur *absorbée* pour décomposer le poids d'acide carbonique renfermant 1 gramme de charbon.

Or, MM. Berthelot et Vieille trouvent qu'une molécule de glycose, $C^6H^{12}O^6$, principe immédiat qui paraît prendre naissance le premier dans les cellules à chlorophylle éclairées, dégage en brûlant

dans l'oxygène pour se réduire en acide carbonique et en eau 677 calories. Or ce sont ces deux corps, acide carbonique et eau, qui pénètrent dans la feuille, ils y forment du glucose, et pour qu'ils le puissent faire, ils doivent consommer une quantité de chaleur précisément égale à celle que dégage leur combustion, c'est-à-dire 677 calories, qui sont empruntées aux radiations solaires.

Dans la feuille s'exécute un travail énorme que nous avons de la peine à reproduire dans le laboratoire, quand nous ne faisons intervenir que la chaleur seule, mais que nous réalisons plus aisément à l'aide des effluves qui dissocient l'acide carbonique en oxyde de carbone et oxygène, la vapeur d'eau en ses éléments : hydrogène et oxygène; expériences intéressantes dans lesquelles la décomposition a lieu à froid, comme dans les feuilles.

Il est manifeste que cette décomposition, qu'elle soit déterminée par des effluves ou par la chaleur, n'est réalisée que par l'action d'une énergie extérieure, dans la feuille cette énergie est fournie par le soleil; ce sont ses radiations qui transforment les corps saturés d'oxygène, acide carbonique et eau, en substances combustibles en en séparant l'oxygène.

Or si on réfléchit que toutes les forces que nous utilisons sur le globe proviennent de la chaleur dégagée par la combustion des principes élaborés par les végétaux, si on réfléchit que le bois que nous brûlons dans nos foyers, la houille qui provient de l'altération des végétaux qui ont couvert la terre à des époques reculées, que la chaleur animale même, provient des combustions qu'alimentent dans l'organisme des matières végétales ou des matières animales formées par des animaux herbivores, on reconnaîtra que toute la chaleur utilisée à la surface de la terre provient de la chaleur solaire, qui a réduit l'acide carbonique et l'eau dans la cellule à chlorophylle.

Depuis qu'il est acquis que le mouvement et le travail ne sont qu'une forme particulière de la chaleur, chacun conçoit que c'est en brûlant dans ses tissus la matière organique formée sous l'influence du soleil que l'animal se meut; que c'est encore en utilisant la chaleur du soleil accumulée dans la houille ou dans le bois que nos machines travaillent, et trouve ainsi dans le soleil l'origine de tout le mouvement qui s'exécute sur la terre.

« Ce ne sont pas, disait l'illustre Stephenson en voyant arriver un convoi à toute vitesse, ces puissantes locomotives dirigées par nos habiles mécaniciens qui font avancer ce train; c'est la lumière

du soleil, qui, il y a des milliers d'années, a dégagé le carbone de l'acide carbonique pour le fixer dans des plantes qu'une révolution du globe a ensuite amenées à l'état de houille. »

CHAPITRE III

ASSIMILATION DE L'AZOTE.

Un grand nombre de principes immédiats contenus dans les végétaux sont formés de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, telles sont notamment les matières albuminoïdes abondantes dans les graines et qui leur donnent les qualités nutritives qui les font employer à l'alimentation de l'homme et des animaux depuis les époques les plus reculées ; le gluten contenu dans le froment, la légumine des haricots, la caséine des pois appartiennent à ce groupe de substances. Les végétaux renferment encore des matières quaternaires, douées de propriétés basiques, qui sont souvent des poisons violents, des médicaments énergiques, ou même tous deux à la fois, la morphine des pavots, la quinine des écorces de quinquinas, la strychnine des strychnées sont classées parmi les alcaloïdes, auxquelles se rattachent également les matières azotées ternaires telles que la nicotine des tabacs.

Les matières azotées contenues dans les organes des végétaux se caractérisent très aisément en chauffant ces organes préalablement desséchés et réduits en menus fragments, avec de la chaux sodée, on voit bientôt apparaître des fumées ammoniacales, bleuissant le papier rouge de tournesol et donnant d'épaisses vapeurs en présence de l'acide chlorhydrique.

Sous quelles formes l'azote pénètre-t-il dans les végétaux, c'est ce que nous devons examiner dans ce chapitre qui comprendra les paragraphes suivants :

Assimilation de l'azote à l'état de nitrates.
Assimilation des sels ammoniacaux.
Assimilation des matières organiques azotées.
Assimilation de l'azote à l'état libre.

§ 29. — Assimilation de l'azote a l'état de nitrates.

Démonstration expérimentale. — Bacon, Glauber, Dygbé, au dix-septième siècle, Heushan, cité par l'abbé de Vallemont au

dix-huitième siècle, Dolomieu, ont reconnu que le salpêtre est un engrais très efficace; toutefois il y a soixante ans, quand Boussingault eut montré que l'azote fait partie intégrante des végétaux, ces anciennes expériences avaient été oubliées et on n'accordait guère qu'à l'ammoniaque la propriété de fournir aux plantes l'azote nécessaire à l'élaboration de leurs principes azotés; cette opinion ne fut abandonnée qu'à l'époque où s'engagea la longue discussion relative à l'assimilation de l'azote libre par les végétaux; c'est seulement en 1856 que Boussingault (1) et M. Georges Ville (2) ont montré l'influence qu'exercent les nitrates sur la végétation, aperçue déjà par le prince de Salm Hortsmar (3) et par S. Cloëz (4).

Une des expériences de Boussingault a été disposée avec une admirable précision : des hélianthus ayant été semés dans un sol stérile et arrosés avec de l'eau exempte d'ammoniaque fournirent les résultats suivants :

	Matières introduites dans le sol.	Poids des plantes desséchées.	Poids des plantes en défalquant la semence.	Rapport du poids de la plante à la semence.
N° 1.....	sans nitrates.	0gr,507	0gr,397	4gr,6
N° 2.....	0gr,02 de nitrates.	0 ,880	0 ,720	7 ,6
N° 3.....	0 ,04 —	1 ,240	1 ,130	11 ,3
N° 4.....	0 ,16 —	3 ,390	3 ,280	30 ,8

Dans une autre expérience, Boussingault a fait intervenir dans la végétation des hélianthus, encore semés dans un sol stérile, non seulement un nitrate, mais en outre les matières minérales nécessaires au développement normal des végétaux; l'influence exercée par le nitrate est d'une netteté remarquable.

Matières introduites dans le sol.	Poids de la récolte sèche la graine étant = 1.	Matière végétale élaborée.	Acide carbonique décomposé en 24 heures.	Acquis par les plantes en 86 jours de végétation.	
				Carbone.	Azote.
A. Le sol n'ayant rien reçu.....	3,6	0gr,285	1cc,45	0gr,114	0gr,0023
B. Le sol ayant reçu : phosphates, cendres, nitrate de potasse..	198,3	21 ,111	182 ,00	8 ,446	0 ,1666
C. Le sol ayant reçu : phosphates, cendres, bicarbonate de potasse.....	4,6	0 ,291	3 ,42	0 ,156	0 ,0027

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XLVI, p. 5.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XLVI, p. 314.
(3) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XLVI, p. 225
(4) *Leçons professées devant la Société chimique de Paris*, 1861, p. 114.

Dans le mémorable mémoire qu'ils ont consacré à l'étude de l'aliment azoté des graminées et des légumineuses (1), MM. Hellriegel et Wilfarth ont cultivé de l'orge Chevalier dans du sable calciné; chaque vase de verre contenait 4k,600 de sable stérile, dans lequel on maintenait de 17,5 à 8,66 p. 100 d'humidité.

On a ajouté, en outre, à chaque vase : d'abord 4 grammes de carbonate de chaux qui ont été bien mélangés à la masse siliceuse, puis une solution renfermant :

Phosphate de potasse	0gr,544
Chlorure de potassium	0 ,149
Sulfate de magnésie	0 ,240

Les vases ont reçu enfin des doses variées de nitrate de chaux; elles sont inscrites dans le tableau ci-joint, en même temps que les poids des récoltes :

POIDS DU NITRATE de chaux.	AZOTE INTRODUIT.	NOMBRE		MATIÈRE SÈCHE TOTALE.	POIDS MOYEN DU GRAIN.
		DES ÉPILLETS.	DES SEMENCES.		
gr.	gr.			gr.	milligr.
1.968	0.336	470	306	29.343	33.9
1.312	0.224	311	263	21.074	30.8
0.984	0.168	241	194	16.388	31.8
0.656	0.112	147	124	10.805	32.8
0.328	0.056	108	78	5.594	27.9
0.164	0.028	51	43	2.995	24.2
0.000	0.000	10	8	0.508	14.7
0.000	0.000	11	3	0.415	14.8

« Au commencement de l'expérience, l'état des jeunes plantes ne laisse rien à désirer, elles sont absolument semblables pendant la première semaine dans tous les vases.

« Le 4 mai, on remarque que les plantules des vases sans azote sont en retard sur les autres; la différence devient de plus en plus visible. Ce moment correspond évidemment à l'épuisement des matières contenues dans la graine; les plantes présentent dès ce moment les symptômes de l'inanition.

« Toutes les autres plantes restent encore semblables entre elles pendant plusieurs jours. Ce n'est que le 9 mai que la plante, à 28 milligrammes d'azote, reste en retard, et peu de jours après celle à

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 5.

55 milligrammes se distingue à son tour par l'arrêt du développement. Dès la quatrième semaine de mai, l'état de toute la série est tel qu'on reconnaît de loin les différences correspondant aux diverses doses de nitrate de chaux qu'on avait données au sol. Cette différence porte non seulement sur la vigueur et la hauteur des plantes, mais encore sur le tallage.

La plante qui a reçu 336 milligrammes d'azote a produit 5 pousses latérales dont 2 ont épié.

« Celle à 224 milligrammes d'azote a produit 4 pousses latérales dont 1 a épié.

« L'orge qui a reçu 168 milligrammes d'azote a produit de 3 à 4 pousses latérales dont 1 a épié (1).

« Les plantes à 112 milligrammes ont produit de 2 à 3 pousses latérales qui ont toutes été vidées au profit de la pousse principale avant d'avoir formé un épi.

« Les pots qui ont reçu 56 milligrammes ont produit 2 pousses latérales qui toutes ont été vidées au profit de la pousse principale avant d'avoir formé un épi.

« La plante à 28 milligrammes a produit une pousse latérale qui a été vidée au profit de la pousse principale avant d'avoir formé un épi.

« Quant aux plantes sans azote, aucune n'a essayé de développer la moindre pousse latérale.

« Cet état d'inanition ou, dans le cas présent, « la faim d'azote » se manifeste par un ensemble caractéristique de symptômes. Lorsque les matériaux de la graine sont épuisés, c'est-à-dire habituellement pendant la formation de la troisième feuille, la plante continue à végéter à peu près aussi longtemps que les plantes normalement nourries, elle développe tous ces organes jusqu'aux fruits, mais sous une forme naine, en réalité elle ne produit pas de matière nouvelle, puisque chaque nouvel organe s'accroît aux dépens de la feuille la plus âgée qui se vide et se dessèche.

« Lorsque la quantité de l'azote du sol est insuffisante, cet épuisement, ce desséchement des feuilles les plus âgées n'apparaît que plus tard; il ne se manifeste qu'au moment de la formation des fruits, quand la dose d'azote est tout juste suffisante; enfin les plantes qui ont à leur disposition un excès d'aliment azoté ne présentent jamais ce symptôme, elles développent encore des

(1) Nous résumons ici l'expérience, plusieurs des doses ont été données en double ou triple, le nombre des pots était de 14.

pousses latérales alors que les épis les plus âgés commencent déjà à jaunir, les différentes parties de la plante ne mûrissent pas en même temps et parfois la maturité se fait même attendre indéfiniment. »

A ces expériences portant sur des helianthus (Boussingault) et de l'orge chevalier (Hellriegel et Wilfarth), nous pouvons ajouter celles qui ont été exécutées au Muséum, il y a déjà plusieurs années (1), sur des betteraves ; on a obtenu pour l'ensemble de trois betteraves végétant à côté les unes des autres dans de grands tonneaux renfermant un sol artificiel formé de sable siliceux, de calcaire terreux et d'argile :

Sans aucun engrais.....	111	grammes.
Avec phosphate de chaux et chlorure de potassium	225	—
Avec phosphate de chaux, chlorure de potassium et nitrate de soude.....	1777	—

Ces expériences sont donc absolument démonstratives, elles établissent avec la plus complète évidence que les nitrates servent d'aliments aux plantes.

Présence des nitrates dans les plantes. — Il arrive même que certaines plantes se chargent de quantités considérables de nitrates. La calcination des vinasses de betteraves donne parfois des explosions dues à la réaction violente des nitrates sur la matière organique.

Barral a appelé l'attention sur les quantités considérables de nitrates qui se rencontrent dans les betteraves et quelques autres racines (2). M. Ladureau a également dosé ces nitrates (3) dans les betteraves ; récemment, j'ai appuyé sur les inconvénients que présentent ces nitrates dans les betteraves fourragères, où on les rencontre parfois en quantités assez notables pour que les animaux qui les consomment en soient incommodés (4) et même périssent. M. F. Meunier (5) a montré, en outre, que les graminées et particulièrement le sorgho se chargent de quantités notables de nitrates dont l'influence fâcheuse s'est également fait sentir sur les animaux nourris de foin de prairies trop abondamment fumées avec l'azotate de soude.

(1) Frémy et Dehérain, *Ann. agron.*, t. I, p. 160.
(2) *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 1084.
(3) *Ann. agron.*, t. IV, p. 558.
(4) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 544.
(5) *Ann. agron.*, t. VII, p. 73.

Il est probable que c'est à la présence de ces nitrates dans le sorgho qu'il faut rapporter les accidents qui sont survenus après la consommation de cette plante et ont fait supposer à tort qu'elle était vénéneuse.

M. Arnaud a trouvé dans un alcaloïde nouveau, qu'il a découvert dans les écorces de certains quinquinas, la *cinchonamine*, un réactif précieux pour déceler dans les plantes la présence des nitrates ; en effet le nitrate de cinchonamine est insoluble dans l'eau, surtout en présence des acides ; il cristallise aisément ; si on plonge dans une dissolution de sulfate de cinchonamine au 1/250 des tiges d'ortie ou de pariétaire, on les voit bientôt se couvrir de cristaux qui les hérissent de pointes brillantes pouvant atteindre plusieurs millimètres d'épaisseur (1).

On avait donc constaté la présence des nitrates dans divers végétaux quand MM. Berthelot et André ont entrepris leur grand travail qui a établi la présence universelle des azotates dans le règne végétal (2). Le mémoire dans lequel ce dernier fait est établi se termine par le passage suivant :

« Presque tous les végétaux contiennent des azotates au moins pendant une certaine période de leur végétation : aussi bien les Dicotylédones que les Monocotylédones et les plantes des autres classes (Mousses, Fougères, Équisétacées, etc.), aussi bien les plantes terrestres que les plantes aquatiques ; aussi bien les plantes annuelles que les plantes vivaces et les arbres mêmes (Pin, Prunier, Poirier). La proportion des azotates, mesurée par un procédé d'analyse rigoureux, varie d'ailleurs, depuis des quantités presque nulles jusqu'à 15 millièmes dans la Pomme de terre, 20 millièmes dans le Blé, et même 150 millièmes dans certains Amarantus à des périodes convenables de la végétation. »

Ces nitrates accumulés dans les tissus paraissent être des réserves destinées à être utilisées au moment de l'élaboration des matières organiques azotées, ils disparaissent partiellement ou complètement à certaines périodes, pour reparaître à d'autres, au moins dans les plantes vivaces.

§ 30. — Assimilation de l'azote a l'état ammoniacal.

Tandis que tous les agronomes sont d'accord sur l'efficacité des

(1) *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 1488.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. VIII, p. 5-128, 1886.

nitrates, ils ont au contraire des opinions assez divergentes sur l'assimilabilité des sels ammoniacaux.

L'emploi très avantageux, dans nombre de cultures, du sulfate d'ammoniaque, n'est pas une objection contre ceux qui prétendent que les plantes ne s'emparent pas directement des sels ammoniacaux, car on sait que dans un très grand nombre de sols, convenablement humides, l'ammoniaque est très rapidement nitrifiée, de telle sorte qu'après quelques jours elle n'existe plus, mais s'est transformée en nitrate dont l'utilité a été reconnue.

Pour établir que les sels ammoniacaux sont directement utilisés, il fallait donc disposer les expériences en se mettant à l'abri du ferment nitrique, qui, en transformant l'ammoniaque introduite pour servir d'engrais, aurait enlevé toute valeur aux résultats constatés.

Ces essais ont été exécutés par M. Muntz, qui, après avoir privé par des lavages prolongés la terre des nitrates qu'elle renfermait, l'a additionnée de phosphates, sels alcalins et sulfate d'ammoniaque, puis l'a portée à 100° pour la stériliser.

On y a semé des graines stérilisées elles-mêmes par immersion dans l'eau bouillante, pendant quelques instants; enfin on a placé les pots ainsi préparés dans une cage vitrée sur trois côtés, munie d'une toile à maille serrée sur la dernière face, pour que l'air pût se renouveler; les parois de la cage étaient au reste enduites de glycérine pour fixer les germes que l'air pouvait contenir.

Des pots semblables aux précédents renfermant les mêmes graines ont été placés dans une cage semblable, mais systématiquement ensemencés d'une terre nitrifiante pour que le sulfate d'ammoniaque s'y transformât en nitrates.

On s'est assuré au reste que dans les pots non ensemencés de ferment nitrique, l'ammoniaque avait persisté sous sa forme première; et cependant la végétation a été aussi active dans un cas que dans l'autre; voici les chiffres donnés par M. Muntz :

	Azote		
	dans la graine.	dans la récolte.	emprunté à l'ammoniaque.
Maïs.....	3 milligr.	211 milligr.	208 milligr.
Fève.....	37 —	956 —	919 —
Orge.....	0.7 —	50 —	49.3 —
Féverole.....	16 —	105 —	89 —
Chanvre.....	0.5 —	115 —	114.5 —

Cette expérience prouve de la façon la plus nette que l'ammo-

niaque a dû être utilisée comme telle ; mais il reste à concilier ces résultats avec ceux qui ont été observés par divers expérimentateurs.

En 1843, Bouchardat ayant élevé dans l'eau des menthes aquatiques leur donna comme engrais de faibles quantités de sels ammoniacaux, elles périrent.

Il concluait :

1° Les dissolutions des sels ammoniacaux communément employés ne fournissent pas aux végétaux l'azote qu'ils assimilent.

2° Lorsque ces dissolutions à 1 millième sont absorbées par les racines des plantes, elles agissent toutes comme des poisons énergiques.

S. Cloëz répète ces expériences avec succès, il observe que les sels ammoniacaux en dissolution dans l'eau à la dose de 0,0001 sont nuisibles à la végétation des plantes aquatiques.

J'ai moi-même observé souvent à Grignon que les sels ammoniacaux agissaient sur la végétation d'une façon défavorable et qu'une terre qui en avait reçu une quantité un peu forte restait stérile pendant plusieurs années.

Il reste donc, ainsi qu'il a été dit, à concilier ces opinions opposées, ce qui exige des expériences nouvelles ; il est probable que les sels ammoniacaux favorables à certaines espèces sont décidément nuisibles à certaines autres ; cette discussion n'est pas au reste purement théorique, en effet, si le ferment nitrique est universellement répandu, si dans les sols humides l'ammoniaque se transforme en nitrates très rapidement, si, dans ce cas, l'addition des sels ammoniacaux équivaut souvent à celle des nitrates ; il est d'autres sols dans lesquels cette transformation est beaucoup plus lente ; j'ai ajouté au mois de novembre 1889, à 30 kilos de terre exposée à l'air, 12 grammes de sulfate d'ammoniaque, j'ai recueilli des eaux de drainage, dont la composition a été comparée à celle des eaux qui s'écoulaient d'une terre semblable à la précédente, mais maintenue sans addition ; après une année, la différence de l'acide nitrique recueilli ne correspondait pas à l'azote contenu dans le sulfate d'ammoniaque, la nitrification n'était pas achevée.

Nous verrons en effet, quand nous discuterons l'emploi des engrais (4e partie), que si l'épandage des sels ammoniacaux ne présente aucun inconvénient sur les terres fortes, il n'en est plus de même sur les terres légères qui se dessèchent aisément.

§ 31. — Assimilation des matières organiques.

Les anciens agronomes, Th. de Saussure notamment, n'hésitaient pas à admettre l'assimilation des matières ulmiques; on désigne sous ce nom un peu vague les substances organiques de la terre arable, dans lesquelles on trouve toujours de l'azote.

Les *Recherches chimiques sur la végétation* ne renferment pas cependant d'expériences décisives sur ce sujet; mais l'influence du terreau sur le développement des plantes était tellement établie par les observations séculaires des cultivateurs et des jardiniers, qu'on avait naturellement admis que les matières organiques du sol sont utiles à la végétation par leur assimilabilité directe, quand Liebig publia son cours de *Chimie appliquée à l'agriculture*, dans lequel il soutint une opinion toute contraire : « L'humus nourrit les plantes, non pas parce que comme tel il est absorbé et assimilé, mais parce qu'il présente aux racines une source d'acide carbonique qui approvisionne la plante de la nourriture essentielle, tant que les conditions nécessaires à la pourriture : l'humidité et l'accès de l'air, se trouvent réunies. »

Malgré quelques expériences contraires à cette manière de voir, de Th. de Saussure, de Malaguti, de Soubeyran, l'opinion de Liebig soutenue par Boussingault prévalut, l'éminent agronome écrivit en effet : « J'admets que la totalité du carbone assimilé par les plantes a le gaz acide carbonique pour origine, parce que je ne connais pas une observation assez nette et assez complète pour établir que les matières organiques carbonées renfermées dans le sol, les acides bruns, par exemple, leur fournissent directement du carbone. Je crois que le carbone de ces matières doit d'abord être brûlé, constituer du gaz acide carbonique avant d'entrer dans l'organisme végétal. La quantité considérable de gaz acide carbonique que décomposent chaque jour les plantes cultivées est sans doute fournie par les engrais. » Boussingault rappelle ensuite qu'une terre fumée renferme une quantité considérable d'acide carbonique provenant de la combustion lente de la matière organique et « c'est là évidemment l'utilité incontestable du terreau et du fumier (1). »

Boussingault soutient donc l'opinion que la matière organique du sol est une simple source d'acide carbonique, et bien qu'il ne

(1) *Chimie agricole*, t. IV.

donne aucun détail sur ce point, il semble que son opinion soit que l'acide carbonique du sol est charrié des racines aux cellules à chlorophylle où il serait décomposé comme l'acide carbonique qui a directement pénétré dans les feuilles.

Cette manière de voir, très plausible, n'est pas soutenue par l'expérience; Corenwinder (1) introduit dans une cloche à douille une racine de *Cuphea* ayant beaucoup de chevelu. Les extrémités de cette racine plongeaient dans de l'eau distillée. La tige traversait la douille et les feuilles flottaient dans l'air. On introduisit sous la cloche un volume d'acide carbonique exactement mesuré, on exposa au soleil pendant quatre heures, puis on fit passer le gaz de la cloche dans l'eau de baryte, on en trouva 17cc,5 de plus qu'on n'en avait introduit.

Une racine de chou plongeant dans une dissolution légère d'acide carbonique, tandis que les feuilles étaient dans l'air, ajouta à cette eau une nouvelle proportion d'acide carbonique au lieu de lui en emprunter; on obtint encore les mêmes résultats avec une *Eupatoire*. Après avoir rapporté les expériences que nous résumons ici, Corenwinder ajoute : « Les recherches précédentes ne sont pas favorables à la théorie qui tend à affirmer, que les racines des plantes font dans le sol des inspirations abondantes d'acide carbonique. Si l'on ne veut pas en conclure que cette théorie est fausse, il faut admettre au moins qu'elle est mise en question aujourd'hui et qu'elle n'a désormais aucun caractère expérimental. »

Nous avons, M. Vesque et moi, confirmé les résultats précédents quelques années plus tard.

Diverses plantes furent enracinées dans de la pierre ponce contenue dans un flacon dont on pouvait à volonté composer l'atmosphère; il était facile à l'aide d'un thermomètre et d'un manomètre de suivre les variations de pression que présentait cette atmosphère, et enfin d'extraire les gaz qui la composaient pour les soumettre à l'analyse. On reconnut que les racines absorbaient de l'oxygène et émettaient de l'acide carbonique; et qu'en enrichissant l'atmosphère des racines d'acide carbonique il était impossible de reconnaître dans l'atmosphère des feuilles un dégagement d'oxygène qu'on fût en droit d'attribuer à la décomposition de l'acide carbonique du sol, saisi par les racines et transporté jusque dans les cellules à chlorophylle (2).

(1 *Ann. des scien. natur. bot.*, 4e série, t. IX, p. 63, 1868.
(2) *Ann. agron.*, t. II, p. 513; *C. R.*, t. LXXXIV, p. 959.

M. Grandeau, inspecteur général des stations agronomiques, attribue à la matière organique du sol un rôle qu'il importe de discuter (1). Il extrait cette matière en traitant successivement la terre par des acides puis par des bases ou du carbonate d'ammoniaque; le liquide brun qu'il obtient est très chargé de matières minérales; on y trouve de l'acide phosphorique, du sesquioxyde de fer, de la chaux, de la magnésie et de la silice, c'est-à-dire un ensemble de substances dont toutes, sauf l'acide phosphorique, sont insolubles dans l'eau chargée de carbonate d'ammoniaque. Il est vraisemblable que les acides de la matière noire s'opposent à la précipitation comme le font les acides tartrique ou citrique.

M. Grandeau place ensuite la matière noire, chargée des substances minérales indiquées plus haut, dans un dialyseur, et reconnaît que les matières minérales se diffusent dans l'eau extérieure, mais que la matière organique reste au contraire sur le papier parchemin sans pouvoir le traverser. « Il me paraît résulter de là, dit-il : 1° que les éléments minéraux en question (PO^5, Fe^2O^3, CaO, MgO, etc.) sont à un état directement assimilable pour les végétaux, ou tout au moins qu'ils peuvent être absorbés par leurs racines; 2° que la matière organique de l'humus n'est point absorbée et reste dans le sol. »

Cette dernière conclusion repose sur l'observation que la matière ulmique n'a pas traversé le dialyseur; il semble qu'elle ait pris par l'action successive des acides et des bases une forme colloïdale peu favorable à la diffusion; il est bien à remarquer cependant que sous le nom de matière ulmique on désigne un mélange très complexe, qui est bien loin de toujours présenter la même composition. Si l'expérience de M. Grandeau réussit souvent, on obtient aussi très fréquemment, notamment dans les matières noires du fumier, des matières organiques qui se diffusent aisément, et donnent à l'eau du dialyseur une couleur ambrée très prononcée. Quand, au reste, au lieu d'agir sur les produits extraits de la terre arable par l'action des réactifs, on opère sur la terre elle-même, elle cède à l'eau une matière organique qui teinte en jaune brunâtre les eaux de drainage et qui est susceptible de se diffuser au travers du papier parchemin.

C'est ce qu'a montré M. Petermann, directeur de la station agronomique de Gembloux; en appliquant sur des terres de diverses

(1) *C. R.*, t. LXXIV, p. 988.

origines un dialyseur renfermant de l'eau distillée, il a reconnu que cette eau s'était chargée de matière organique.

Il a obtenu les résultats suivants pour 100 grammes de terre fine soumis à la dialyse pendant cent jours :

Nature des terres.	Poids total de la matière dialysée.	Matière organique dialysée.
Sablonneuse	0gr,076	0gr,038
Sablo-schisteuse	0 ,041	0 ,012
Calcaro-schisteuse	0 ,165	0 ,066
Sablo-argileuse	0 ,263	0 ,181
Argilo-sablonneuse	0 ,051	0 ,025

Ces résultats sont de nature à ébranler l'opinion que la matière organique du sol ne peut servir d'aliment à la plante.

Au reste, depuis l'époque où furent publiées les expériences de M. Petermann, plusieurs faits nouveaux sont venus appuyer cette idée d'une assimilation directe de la matière organique du sol.

Nous insisterons, dans la seconde partie de ce volume où nous nous occuperons de la terre arable, sur les observations recueillies à Grignon sur les terres cultivées sans engrais pendant une longue suite d'années, nous devons cependant indiquer ici à quelles conclusions ont conduit les expériences exécutées.

Ces terres ne portaient plus, après douze ans de culture sans engrais, que des récoltes misérables de trèfle ou de betteraves; l'analyse a montré que l'élément qui y faisait particulièrement défaut était la matière organique; 1 kilogramme de ces terres, au lieu de renfermer 16 grammes de carbone, des matières organiques comme les sols régulièrement fumés, n'en contenait plus que 7 grammes.

Pour savoir si l'absence de cette matière organique était bien la cause de la stérilité relative de ces terres, on a disposé pendant l'été de 1890 une série d'expériences, dans lesquelles on a mis en comparaison les récoltes obtenues :

1° D'une terre bien fumée les années précédentes, sans engrais en 1890;

2° Une terre épuisée, sans engrais en 1890;

3° Une terre épuisée, additionnée d'engrais chimiques;

4° Une terre épuisée, additionnée de matière noire du fumier;

5° Une terre épuisée, additionnée à la fois de matière noire du fumier et d'engrais chimiques.

On a semé dans ces différents sols contenus dans de grands pots, pouvant contenir 50 kilos de terre, diverses plantes; l'effet de la

matière noire du fumier peu sensible sur l'avoine a été au contraire très marqué sur le chanvre; on a en effet obtenu les poids de récoltes suivants :

	Avoine.	Chanvre.
Bonne terre	»	35gr,8
Terre épuisée sans addition	19gr,7	15 ,5
— (engrais chimiques)	28 ,8	22 ,8
— (matière noire du fumier)	23 ,5	25 ,7
— (matière noire du fumier, engrais chimiques)	30 ,7	38 ,4

Les différences constatées sont considérables : tandis que la terre épuisée a recouvré sa fertilité pour l'avoine quand elle a reçu des engrais chimiques; cette addition n'a présenté pour le chanvre qu'une faible utilité, mais il en a été tout autrement quand à ces engrais salins sont venues s'ajouter les matières noires du fumier.

Il convient en outre de rappeler une expérience analogue de Corenwinder (1), dans laquelle il a mis en comparaison deux betteraves, l'une cultivée dans du sable, mais arrosée avec une dissolution de sels purs tels que nitrate de potasse, sulfate ammoniaco-magnésien, phosphate d'ammoniaque, phosphate acide de chaux, silicate alcalin, en un mot, outre l'azote sous la forme de nitrates et de sel ammoniacal, toutes les matières minérales dont l'analyse signale l'existence dans la betterave; l'autre betterave fut ensemencée dans du terreau qui n'était pour ainsi dire que du fumier de cheval décomposé.

Les pesées et les analyses ont donné les résultats suivants :

	Sol formé de	
	Sable additionné de produits chimiques.	Terreau.
Feuilles	270gr,00	2k,560
Racine	490gr,00	1k,145
Sucre dans 100 de jus	12gr,26	10gr,60
Sucre dans la racine	60gr,07	121gr,37

L'influence de la matière organique est donc ici très sensible.

Elle ne l'est pas moins pour la culture du trèfle; à Grignon, les parcelles restées sans engrais depuis longtemps ne portent plus que des récoltes très faibles, malgré l'addition d'engrais minéraux et bien qu'on trouve des nodosités à bactéries sur leurs racines.

Ces expériences ne sont pas les seules qu'on puisse invoquer en

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 97.

faveur de l'opinion que les matières organiques azotées sont assimilées.

M. Boesler (1) élève des maïs dans des dissolutions salines privées d'azote, mais tous les jours plonge quelques-uns d'entre eux dans une dissolution pure d'asparagine qu'on renouvelle aussitôt qu'il y apparaît de l'ammoniaque, des plantes semblables sont immergées pendant le même temps dans une dissolution de salpêtre; les quantités de matière azotée produite en soixante-trois jours sont pour 100 de matière sèche :

	Plantes dans l'asparagine.	Plantes dans le salpêtre.
Azote total.....	1.37	1.61
Azote des albuminoïdes.....	1.23	1.27

On peut s'assurer que les matières organiques sont utilisées par une autre méthode : en cherchant si les principes immédiats qui dérivent de l'activité chlorophyllienne, l'amidon par exemple, apparaissent dans une plante placée dans une atmosphère privée d'acide carbonique, mais alimentée par les racines de matières organiques; en opérant ainsi M. Acton (2) a montré que divers végétaux, maintenus sous une cloche où la présence de la potasse empêchait l'acide carbonique de rester libre dans l'atmosphère, se chargaient d'amidon quand le sol artificiel où s'étalaient les racines était additionné d'humus.

M. Acton ne signale pas dans ses expériences la mort des plantes privées d'acide carbonique aérien, or il semble que l'inaction complète soit mortelle à la cellule à chlorophylle; il faudrait donc conclure de la réussite des expériences du savant anglais, que l'humus assimilé et charrié au travers des tissus est mis en œuvre dans les cellules à chlorophylle et amené à l'état d'amidon. A ces expériences directes, portant sur les plantes à chlorophylle, il convient d'ajouter celles qui ont été exécutées sur les végétaux sans chlorophylle, qui tous vivent de matières organiques.

Les expériences exécutées par M. Raulin (3) sur l'*Aspergillus niger* ont montré, en outre, combien est complexe l'alimentation de cette espèce : on n'obtient le développement maximum de cette moisissure qu'à la condition de lui donner une alimentation renfer-

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 238.
(2) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 41.
(3) Ce mémoire remarquable est inséré dans le tome XI de la 5e série des *Ann. des sciences natur., botanique.*

mant, outre le sucre, le tartrate d'ammoniaque, etc., des traces de sels de *zinc* et de *fer*.

On conçoit, par analogie, que s'il existe des plantes qui se développent normalement avec une alimentation purement minérale, formée de nitrates, de phosphates, de sels de potasse, plantes, par conséquent, qui puisent exclusivement leur carbone dans l'acide carbonique aérien, on puisse en rencontrer d'autres pour lesquelles cette alimentation purement minérale serait insuffisante et qui auraient besoin, pour atteindre leur développement normal, de trouver dans le sol des matières organiques assimilables.

C'est au reste ce que professe depuis longtemps M. Sachs et nous ne pouvons mieux faire que de reproduire le passage remarquable qu'il a consacré à ce sujet.

« Il existe dans le règne végétal deux extrêmes par rapport à la faculté de créer de la matière combustible ; elle peut être produite aux dépens de l'acide carbonique ou provenir de l'absorption des matières déjà organisées, qui seraient transformées et utilisées par la croissance ; entre ces points, il y a probablement des intermédiaires. L'un des extrêmes est représenté par les plantes qui sont en état de tirer tout leur carbone de l'acide carbonique même pendant les périodes de végétation les plus actives ; l'autre par les plantes sans chlorophylle qui ne décomposent jamais d'acide carbonique et qui par conséquent tirent tout leur carbone de combinaisons organiques. Mais il n'est pas contraire à la théorie de supposer que les plantes à chlorophylle qui décomposent l'acide carbonique absorbent en même temps des substances organisées et utilisent pour la formation de leurs organes le carbone provenant de ces deux sources (1). C'est ce que font dans un certain sens tous les germes qui se nourrissent aux dépens d'un endosperme ; ils tirent d'abord des principes élaborés de ce tissu qui est très distinct du leur, et peuvent ainsi développer leurs organes ; mais dès que leurs feuilles se sont épanouies à la lumière, elles commencent à décomposer l'acide carbonique et les plantes s'accroissent par cette voie. Un parasite vit sur la plante qui le porte, comme le germe sur son

(1) Le fait que l'humus ne cède que très peu de substance organique à l'eau froide ne prouve pas que les plantes ne puissent pas en absorber, pas plus qu'il ne faut conclure de ce fait, que l'extrait aqueux du sol ne contient que très peu d'acide phosphorique et de potasse, que ces substances ne sont pas absorbées. Nous ne savons pas si ce sont les sels de l'acide ulmique qui sont importants pour les plantes, un organisme qui se décompose donne bien d'autres produits ; nous ne savons pas quelle est la forme de ceux que la plante absorbe. (Note de M. Sachs.)

endosperme; s'il n'a pas de cellules vertes c'est de son support qu'il tire tous les composés carbonés dont il a besoin; mais s'il possède des feuilles vertes, pourquoi ne pas supposer qu'il en utilise les propriétés en même temps que par ses suçoirs il tire des principes élaborés de la plante qui le porte... On peut bien penser que les plantes non parasites à feuilles vertes, qui vivent dans un sol très riche, forment leur substance combustible, en partie en absorbant des matières organiques, en partie en décomposant l'acide carbonique. »

On voit que les physiologistes allemands sont restés fidèles à l'ancienne opinion de Th. de Saussure, et on ne conçoit pas pourquoi en France on a accepté si complètement les vues de Liebig. En réalité les plantes absorbent toutes les matières dialysables, qu'elles leur soient avantageuses ou nuisibles, et puisque d'une part nous voyons que les matières organiques du sol sont dialysables, que d'autre part certains végétaux bénéficient de leur présence, pâtissent quand elles font défaut, il n'y a aucune raison sérieuse pour leur refuser la qualité d'aliments.

§ 32. — Intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation.

Certaines plantes atteignent leur développement normal dans un sol ne renfermant que des nitrates, des phosphates de chaux et de magnésie et du chlorure de potassium.

On en conclut que les petites quantités d'acide carbonique contenues dans l'air suffisent à fournir à ces végétaux le carbone nécessaire à la formation de leurs tissus.

Si on sème des graines dans du sable stérilisé par le feu, auquel on n'ajoute que des matières minérales, sans engrais azoté, après quelques semaines de végétation d'autant plus languissante que la graine était plus petite : la plante périt; d'où cette nouvelle conclusion que, malgré son abondance dans notre atmosphère, l'azote n'est pas directement utilisé.

Ne l'est-il en aucune façon? N'intervient-il jamais dans les phénomènes de la végétation? C'est ce que nous voulons examiner dans ce paragraphe, dans lequel seront discutées les questions suivantes :

1. Observations qui démontrent l'intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation.

2. Expériences de M. Boussingault, de MM. Lawes, Gilbert et Pugh, démontrant que l'azote atmosphérique n'est pas assimilé par les feuilles des végétaux.

3. Travaux de M. G. Ville.

4. Discussion de l'influence de l'acide azotique et de l'ammoniaque atmosphérique.

5. Fixation de l'azote atmosphérique dans la terre arable. — M. Berthelot.

6. Fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses.

Observations qui démontrent l'intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation. — Ces observations sont nombreuses :

a. Les forêts ne reçoivent jamais aucun engrais; quand elles sont régulièrement exploitées, elles perdent à chaque coupe les quantités notables d'azote contenues dans le bois, et bien qu'on ne restitue jamais l'azote exporté, le sol de la forêt conserve indéfiniment sa fertilité, ce qui n'aurait pas lieu si une cause occulte ne réparait ces pertes incessantes.

b. L'influence de cette cause est encore plus sensible dans les prairies hautes de montagne. Elles ne reçoivent jamais d'autre fumure que les déjections des animaux qui y pâturent tout l'été, et cependant chaque année, des quantités notables d'azote combiné descendent dans la plaine, contenues dans le fromage fabriqué avec le lait des vaches ou des chèvres, dans la laine qui a crû, dans les muscles des animaux qui ont augmenté de poids pendant la saison d'été.

Il semblerait que cette exportation qui se continue depuis un temps immémorial ait dû appauvrir ces prairies et que l'azote ne dût plus s'y rencontrer qu'en minimes proportions, l'analyse prouve au contraire que ces terres sont d'une richesse exceptionnelle : Truchot y a dosé 5, 7 et même 9 grammes d'azote combiné par kilo: proportions énormes qu'on ne rencontre jamais dans les terres labourées les plus copieusement fumées.

Ces chiffres démontrent de la façon la plus précise que l'atmosphère apporte aux sols de notables quantités d'azote.

c. Quand enfin, à l'imitation de Boussingault, on détermine d'une part : la teneur en azote des engrais distribués à une terre soumise à un assolement régulier et fumée avec une certaine parcimonie ainsi qu'on le faisait autrefois, d'autre part celle des récoltes, on trouve toujours plus d'azote dans les récoltes qu'il n'en a été fourni par les fumures :

Il a en effet constaté les faits suivants pour les cultures d'un hectare :

	Azote		Différence.
	des récoltes.	des fumures.	
1° Assolement de trois ans : deux blés, avec jachère.....	87k,2	82k,8	4k,6
2° Assolement de cinq ans : pommes de terre, froment, trèfle, froment et navets dérobés, avoine.	266 ,5	203 ,2	63 ,3
3° Assolement de quatre ans : pommes de terre ou betteraves, froment, trèfle, froment.....	338 ,7	182 ,1	156 ,7
4° Culture continue de la luzerne, cinq ans.....	1035 ,0	»	1035 ,0

Il est bien à remarquer en outre que la totalité de l'azote de la fumure n'est pas utilisée par les récoltes, une partie importante s'échappe, en dissolution dans les eaux souterraines sous forme de nitrates, les quantités d'azote atmosphérique utilisées par les végétaux sont donc supérieures aux différences indiquées.

Ce premier point étant établi : l'atmosphère doit fournir une certaine quantité d'azote à la végétation ; il reste à discuter le mécanisme de cette intervention ; il a été l'objet de longues recherches, d'âpres discussions et c'est seulement dans ces dernières années qu'on a commencé à le connaître.

La méthode de recherches qu'employèrent Boussingault, MM. G. Ville, Lawes, Gilbert et Pugh consiste essentiellement à déterminer exactement la quantité d'azote que renferme une ou plusieurs graines, puis de semer, dans un sol absolument dépouillé de matières azotées, des graines semblables, qui sont arrosées avec de l'eau exempte d'ammoniaque ; quand les plantes se sont développées, on les analyse, on analyse le sol qui les a portées et on voit si la somme de l'azote de la plante et du sol est supérieure à celui de la graine, si par conséquent il y a eu gain d'azote.

Expériences de Boussingault. — I. *Air confiné.* — Boussingault employa cette méthode dès 1837 et 1838, il réussit à élever de chétives récoltes de trèfle, de pois et de froment et put constater un faible gain d'azote dans les plantes des deux premières espèces, tandis qu'il n'en découvrit aucun pour le froment.

A cette époque il attribuait aux vapeurs ammoniacales répandues dans l'air le faible gain constaté, aussi quand en 1851 il reprit cette question dont la solution présente tant d'intérêt pour l'agro-

nomie, il opéra d'abord en atmosphère confinée, dans laquelle on faisait pénétrer de temps à autre de petites quantités d'acide carbonique, l'eau d'arrosage était absolument exempte d'ammoniaque.

Dans ces cultures, aucun gain d'azote ne fut constaté, mais il faut reconnaître que les expériences ne sont pas absolument probantes, car les végétaux recueillis étaient toujours petits, chétifs et n'atteignaient guère qu'une ou deux fois le poids de la semence.

II. *Expériences dans une atmosphère renouvelée.* — Les années suivantes, Boussingault répéta ces expériences, en plaçant les pots garnis de ponce calcinée destinée à recevoir les graines dans une grande cage où circulait de l'air dépouillé d'ammoniaque par son passage au travers d'acide sulfurique et de petites quantités d'acide carbonique destinées à soutenir la végétation; on ne put encore constater aucun gain d'azote, bien que quelques-uns des pieds aient fleuri et porté des graines (1).

III. *Expériences à l'air libre.* — Enhardi par les résultats de ces deux premières séries d'essais, M. Boussingault disposa encore un grand nombre de cultures dans les sols stériles, en laissant les plantes à l'air libre mais en les préservant seulement de la pluie par un toit de verre.

Les résultats constatés conduisirent encore à cette même conclusion, l'azote gazeux n'intervient pas dans la végétation.

Expériences de M. G. Ville. — Dès 1850 et 1851 M. G. Ville était arrivé à des résultats différents, il affirmait que les expériences de M. Boussingault n'étaient exactes que dans les conditions très particulières dans lesquelles il avait opéré, c'est-à-dire en élevant des plantes dans un sol stérile, où elles n'acquièrent jamais qu'un très faible développement, mais qu'il en était tout autrement, quand on commençait par introduire dans le sol une faible quantité d'azote combiné, suffisante cependant pour que la jeune plante crût vigoureusement.

Dans ces conditions, d'après lui, la plante non seulement utilise tout l'azote qui lui est donné comme engrais, mais devient capable de s'assimiler l'azote atmosphérique (2).

Ces contradictions déterminèrent de nombreux essais exécutés

(1) Toutes ces expériences sont insérées dans *Agronomie*, t. I, et aussi dans *Ann. de chimie et de phys.*, 3e série, t. XLI, 5 et XLIII, 149.

(2) *Recherches expérimentales sur la végétation*, 1853; *Comptes rendus*, 1855; *Nouvelles recherches sur la végétation*, 1857; *La production végétale et les engrais chimiques*, 1890.

en Angleterre par MM. Lawes, Gilbert et Pugh, ces expériences dans lesquelles les plantes maintenues en vases clos se développèrent dans des sols privés d'azote combiné, dans d'autres où l'on introduisit de faibles quantités de sels ammoniacaux conduisirent encore à des conclusions favorables à l'opinion soutenue par Boussingault; il fut impossible de constater la fixation de l'azote atmosphérique.

Cet ensemble de résultats prouvait donc que les feuilles plongées dans une atmosphère riche en azote ne peuvent pas l'utiliser à la formation de leurs tissus et que, dans les expériences de M. G. Ville, une cause était intervenue qui avait conduit à des résultats opposés à ceux qu'avaient constatés tous les autres observateurs.

Influence de l'ammoniaque atmosphérique. — Les expériences négatives de Boussingault laissaient entière la question posée, on était toujours incapable d'indiquer d'où provenait l'azote des forêts, des prairies hautes de montagne qui ne sont jamais fumées, et des terres arables qui ne reçoivent par les engrais que des quantités d'azote inférieures à celles que renferment les récoltes.

Il y a quelques années, on ne connaissait d'autre réaction naturelle, capable d'amener en combinaison l'azote libre de l'atmosphère, que la formation d'acide hypoazotique provoquée par l'étincelle électrique; cette production est faible et dans les régions tempérées où les orages sont relativement rares, le gain d'azote que peut occasionner la combinaison des éléments de l'air sous l'influence de la foudre est négligeable; les résultats sont un peu différents dans les régions tropicales où les orages sont fréquents (1).

Sous les tropiques, l'Océan reçoit donc des quantités assez notables d'acide nitrique, formé par combinaison directe des éléments de l'air; d'autre part tous les nitrates formés dans le sol et entraînés par les eaux de drainage sont charriés par les fleuves et aboutissent à la mer, et les quantités qui y arrivent ainsi sont

(1) MM. Muntz et Marcano ont donné récemment (*) les résultats des observations recueillies à Caracas (Venézuela, Amérique méridionale), la moyenne d'acide nitrique par litre de pluie a été de $2^{mill},23$, supérieure à celles trouvées en Europe; en effet, M. Boussingault avait dosé pour le Liebfrauenberg, en Alsace, $0^{mill},18$ et MM. Lawes et Gilbert à Rothamsted $0^{mill},42$. M. Homans en revanche a trouvé pour l'île de Java (**) $2^{mill},3$ et $2^{mill},87$. A la Réunion, M. Raimbault a constaté encore par litre $2^{mill},67$.

Pour les régions tropicales, si on admet une hauteur de pluie de 1 m., on aurait un apport d'azote de 20 à 25 kil. par hectare et par an.

(*) *Comptes rendus*, t. CVIII, p. 1063.
(**) *Ann. agron.*, t. X, p. 80.

considérables. H. Sainte-Claire Deville a dosé près de 4 milligrammes par litre dans l'eau du Rhin prise à Strasbourg, et 8 milligrammes dans l'eau du Rhône prise à Genève ; les chiffres trouvés par Boussingault pour le Rhin sont plus faibles, mais dans la Seine, au pont Notre-Dame, on a souvent dosé de 5 à 8 milligrammes d'acide azotique par litre, et dans l'eau des puits creusés dans le sol du vieux Paris, les quantités surpassent parfois 1 gramme par litre.

Si l'on multiplie les chiffres représentant les nitrates trouvés dans les fleuves par le débit correspondant, on peut se faire une idée de la masse de nitrates qui sont ainsi conduits à la mer : pour le Rhin, elle dépasse annuellement 50 millions de kilogrammes.

L'azote combiné reçu par l'Océan n'y persiste pas sous forme d'acide azotique ; on a signalé depuis longtemps, en effet, la présence de l'ammoniaque dans l'eau de la mer, tandis qu'on n'y a pas découvert d'acide azotique.

Il n'est peut-être pas impossible de comprendre les causes de cette différence ; M. Bréal a reconnu, dans un travail exécuté au laboratoire de physiologie végétale du Muséum (1), que lorsqu'elles sont exposées à la lumière, les algues d'eau douce s'emparent plus rapidement de l'acide azotique que de l'ammoniaque ; quand on les fait périr en les maintenant dans l'obscurité, elles se décomposent et l'azote de leurs tissus se dégage sous forme d'ammoniaque. Il est donc vraisemblable que l'azote nitrique amené par les fleuves, saisi par les algues, est transformé en azote organique, puis passe à l'état d'ammoniaque quand les algues périssent et se décomposent.

Quoi qu'il en soit, de l'ammoniaque existe dans l'eau de la mer : E. Marchand, de Fécamp, y a dosé $0^{mm},57$ par litre, Boussingault $0^{mm},2$. En citant ces chiffres l'éminent agronome ajoute : « Ces proportions sont bien faibles, sans doute, mais l'Océan recouvre plus des trois quarts du globe et, si l'on envisage sa masse, il est permis de le considérer comme un immense réservoir des sels ammoniacaux où l'atmosphère réparerait les pertes qu'elle éprouve continuellement. »

La question est donc nettement posée : l'atmosphère ainsi qu'il a été dit doit fournir aux végétaux une certaine quantité d'azote, et, comme on a été longtemps dans l'impossibilité de reconnaître la fixation de l'azote libre, on a cherché à expliquer les gains

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 317.

d'azote de la végétation, en faisant intervenir l'azote combiné contenu dans l'eau de la mer sous forme d'ammoniaque. L'ammoniaque atmosphérique exerce-t-elle, en effet, une influence sensible sur la végétation?

Il y a déjà longtemps que M. G. Ville a reconnu que des plantes maintenues dans une serre où l'on répandait de faibles quantités de carbonate d'ammoniaque s'y étaient développées plus vigoureusement que celles qui n'avaient pas rencontré d'ammoniaque dans l'atmosphère où elles étalaient leurs feuilles.

M. Sachs a observé également que des haricots placés dans une serre où s'exhalaient des vapeurs ammoniacales avaient acquis un plus grand développement que ceux qui séjournaient dans une atmosphère normale : à l'analyse ils ont montré une plus grande richesse en azote combiné.

Quand on veut répéter cette intéressante expérience, il importe d'opérer avec la plus extrême prudence : une dose un peu forte de carbonate d'ammoniaque tuerait les plantes infailliblement.

Plus récemment M. Schlœsing a repris cette question ; ses expériences ont porté sur des tabacs, les plantes étaient maintenues sous des cloches traversées par un courant d'air renfermant environ un centième d'acide carbonique, le sol d'une des cloches portait en outre un vase dans lequel était placée une dissolution très étendue de carbonate d'ammoniaque.

Voici les résultats obtenus pour l'azote contenu dans 100 parties de matière sèche.

	N° 1. Atmosphère ammoniacale.	N° 2. Sans ammoniaque.
Feuilles écôtées	3.18	2.62
Tiges et côtes réunies	2.08	1.62
Racines	1.33	1.09

M. Schlœsing ne s'est pas borné à exécuter ces dosages d'azote total ; il a reconnu que l'azote en excès contenu dans la plante n° 1 ne s'y trouvait ni à l'état d'ammoniaque ni à celui d'acide azotique, ni même à l'état de nicotine, l'ammoniaque gazeuse avait formé des principes albuminoïdes.

Ainsi l'ammoniaque gazeuse donnée en proportion sensible est utilisée par les végétaux ; mais en est-il de même de l'ammoniaque qui ne se trouve dans l'atmosphère qu'en proportions extrêmement faibles, puisqu'un mètre cube d'air pesant 1,293,000 milligrammes ne renferme que $0^{mm},6$ d'ammoniaque? La proportion est bien exi-

guë et au premier abord on pourrait juger qu'elle n'exerce qu'une influence insignifiante ; en réfléchissant cependant à la grande quantité d'eau que contiennent les feuilles, à la solubilité du gaz ammoniac, on reste indécis et il convient de recourir à l'expérience directe pour savoir si l'ammoniaque atmosphérique exerce une action quelconque sur la végétation.

Ces expériences ont été exécutées par M. Mayer d'Heidelberg, qui n'a obtenu que des résultats négatifs : des plantes exposées à l'air libre, mais protégées contre la pluie et enracinées dans des dissolutions nutritives exemptes d'azote, renfermaient, quand on mit fin à l'expérience, exactement la quantité d'azote que contenait la semence dont elles étaient issues ; quand on introduisit des nitrates dans les liquides nourriciers, du blé ou des pois renfermaient exactement la somme de l'azote contenu dans la graine et dans la solution nutritive.

Ainsi l'ammoniaque atmosphérique ne paraît exercer aucune action directe sur la végétation.

§ 33. — Fixation de l'ammoniaque et de l'azote dans le sol.

Tous les efforts qui avaient été faits pour résoudre cette question : comment l'atmosphère apporte-elle aux plantes une fraction de l'azote qu'elles renferment, avaient donc été vains, et on était encore dans la plus complète indécision, quand il y a quelques années M. Berthelot aborda ce sujet, avec sa supériorité habituelle, et montra que le gain avait lieu par la terre arable.

Nous donnerons sur cette importante question tous les détails qu'elle comporte dans les chapitres réservés à l'étude de la terre arable, nous nous bornerons en ce moment à rappeler le fait fondamental découvert par M. Berthelot, à savoir : les terres médiocrement riches en azote fixent l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de micro-organismes.

Tandis qu'en effet ces terres se chargent de quantités notables d'azote quand elles sont abandonnées à elles-mêmes, elles cessent de s'enrichir, si elles ont été portées d'abord à une température suffisante, pour tuer les germes des êtres vivants qu'elles renferment.

En général, les micro-organismes déterminent l'enrichissement du sol lui-même, mais il est certains cas, dans lesquels l'enrichissement porte sur la plante elle-même et par suite doit être examiné dans ce chapitre.

§ 34 — Fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses.

Depuis longtemps les cultivateurs désignent les légumineuses sous le nom de plantes améliorantes ; ils ont reconnu notamment que dans l'assolement quadriennal comportant deux blés, l'un succédant à des betteraves et l'autre à du trèfle, le second était souvent meilleur que le premier, bien qu'il fût plus éloigné de la fumure ; ils ont reconnu en outre qu'on peut demander plusieurs récoltes successives de céréales à une terre qui sort de luzerne, sans qu'il soit nécessaire de donner aucun engrais azoté.

Ces résultats étaient d'autant plus difficiles à expliquer que les légumineuses sont riches en azote et que par suite leurs récoltes semblaient devoir exercer sur le sol une action épuisante bien plus forte que les céréales ; les expériences où l'on avait essayé de cultiver les plantes de cette famille dans des sols stérilisés par l'action du feu, où des engrais minéraux seuls étaient ajoutés, avaient montré que, pas plus que les autres plantes, les légumineuses ne prennent d'azote libre par leurs feuilles. A diverses reprises, il est vrai, M. Georges Ville avait affirmé qu'on réussit à voir des légumineuses, pois, lupins, semés dans un sol stérile, seulement additionné de matières minérales, languissants pendant les premières semaines de leur vie, acquérir ensuite des dimensions normales, fleurir et fructifier et accuser un gain d'azote considérable ; mais comme on ignorait la cause déterminante du phénomène, qu'on échouait habituellement en voulant répéter ces expériences, on ne leur avait pas accordé l'attention qu'elles méritent et il n'existait aucune explication des faits singuliers précédents, quand, au congrès des naturalistes allemands tenu à Berlin du 18 au 24 septembre 1886 (1), M. Hellriegel annonça que les légumineuses se développant dans un sol stérile avec l'aide d'engrais minéraux seulement peuvent acquérir tout leur développement et fixer de notables quantités d'azote quand elles portent sur leurs racines de petites nodosités, qui examinées au microscope laissent apercevoir de nombreuses bactéries.

Les nodosités apparaissent sur les racines des légumineuses semées dans un sol stérilisé par l'action du feu, à la condition que ce sol ait reçu un extrait du sol naturel.

(1) M. Kayser, chef de travaux au laboratoire de fermentations de M. Duclaux, a donné un résumé de l'importante discussion qui eut lieu sur ce sujet dans le tome XII des *Ann. agron.*, p. 521.

M. Hellriegel a confirmé son importante découverte les années suivantes (1), et enfin publié avec la collaboration de M. Wilfarth un mémoire étendu (2), dans lequel il établit définitivement les propositions suivantes :

Expériences de MM. Hellriegel et Wilfarth. — Les légumineuses (pois, lupins, luzerne, etc.) peuvent se développer normalement dans un sol stérile ne renfermant que des engrais minéraux, à la condition que ce sol ait été ensemencé avec un extrait de terre dans laquelle ont végété précédemment des plantes de la même famille.

L'addition de cet extrait de terre détermine l'apparition des nodosités à bactéries sur les racines, et la plante après avoir traversé la période critique pendant laquelle la pauvreté du sol retarde son développement, après avoir formé, pendant la durée de « la faim d'azote » suivant l'expression des physiologistes allemands, une tige grêle, menue, développe bientôt, sous l'influence de la nourriture que lui procurent les bactéries, des feuilles larges et une tige vigoureuse.

Les chiffres suivants sont relatifs à la culture du sainfoin; six cultures ont été exécutées dans un sable stérilisé, les plantes sèches ont pesé de $0^{gr},135$ à $0^{gr},092$, on n'a constaté aucun gain d'azote.

Quand au sable stérilisé on a ajouté de la délayure de terre on a obtenu des plantes vigoureuses, pesant de $9^{gr},409$ à $18^{gr},190$, les gains d'azote ont oscillé entre $0^{gr},2$ et $0^{gr},4$, toutes les racines étaient garnies de tubercules à bactéries.

Quand au sable stérilisé on a ajouté des nitrates et pas de délayure de terre, les plantes ont pesé au maximum $6^{gr},8$ et les gains d'azote ont été de $0^{gr},046$ dans le cas le plus favorable. Ainsi les légumineuses comme le sainfoin profitent mieux de l'azote atmosphérique fixé par les bactéries des nodosités que de l'azote des nitrates. Quand le sable stérilisé a été additionné de nitrates et de délayure de terre, les racines se sont couvertes de nodosités, le poids des plantes a atteint parfois celui qu'on a obtenu quand on n'a pas employé de nitrates, mais ne s'est pas élevé au delà.

Cette admirable expérience a été répétée avec un plein succès, en 1888, au laboratoire de physiologie végétale du Muséum, par M. E. Bréal, qui a ajouté aux faits découverts par MM. Hellriegel et Vilfarth une démonstration nouvelle des plus intéressantes.

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 330.
(2) *Ann. agron.*, t. XV, p. 5.

Expérience de M. Bréal. — Ayant extrait du sol un pied de luzerne (1) dont les racines étaient garnies de bactéries, il trempa dans le liquide qui garnit ces tubercules une fine aiguille, puis il l'introduisit immédiatement dans la radicelle d'un lupin qu'il avait mis à germer sur du papier à filtre, laissant sans inoculation un autre lupin germé dans les mêmes conditions; les deux graines furent semées à côté l'une de l'autre dans un pot à fleur contenant un kilogramme de gravier, et on arrosa avec une dissolution de chlorure de potassium et de phosphate de chaux.

Les deux plantes se développèrent d'une façon inégale; celle qui avait été piquée forma une grosse tige, garnie de beaucoup de feuilles très vertes; elle porta des fleurs et des fruits qui seraient arrivés à maturité, si l'expérience avait duré plus longtemps; l'autre plante, non piquée, resta chétive, avec des feuilles pâles et petites.

On trouva dans le lupin piqué : $0^{gr},033$ d'azote, la graine n'en renfermant que $0^{gr},012$, ce lupin a donc fixé $0^{gr},021$ d'azote; le lupin non piqué n'a donné à l'analyse que $0^{gr},015$ d'azote, le gain n'a donc été que $0^{gr},003$.

Un pois élevé par M. Bréal dans un grand pot garni de gravier arrosé avec une infusion de terre à luzerne a pesé sec $9^{gr},6$, il renfermait $0^{gr},231$ d'azote, tandis que la graine n'en contenait que $0^{gr},009$.

Les expériences furent encore répétées au Muséum en 1889, elles donnèrent les mêmes résultats; les légumineuses cultivées dans l'eau ou dans le gravier donnèrent des plantes qui se garnirent de fleurs puis de fruits, mais seulement quand on introduisit dans le milieu où se développaient les racines, soit de l'eau de lavage des terres, soit même des bouillons de culture dans lesquels les bactéries des tubercules avaient pullulé, soit enfin quand on *inocula* aux racines les bactéries productives de nodosités.

On peut donc considérer comme un fait absolument démontré que les bactéries du sol sont susceptibles de se fixer sur les racines des légumineuses, d'y développer des nodosités et de provoquer ainsi la fixation de l'azote atmosphérique.

Nous aurons occasion, dans le chapitre consacré à l'étude des légumineuses de grande culture, d'indiquer les hypothèses émises sur le mécanisme de l'assimilation de l'azote par les bactéries des

(1) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 490.

nodosités et sur les avantages que cette production symbiotique procure à la plante (1); mais avant d'abandonner cette question de la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses, il convient de citer le travail dans lequel MM. Schlœsing fils et Laurent ont réussi à démontrer cette fixation, non plus par la méthode indirecte suivie par tous leurs devanciers, mais bien en constatant directement la diminution du volume d'azote gazeux contenu dans une atmosphère limitée où se développaient des pois; triomphant de l'extrême difficulté de cette recherche, les auteurs ont constaté une diminution de 30 centimètres cubes d'azote (2), qu'ils ont retrouvé dans l'accroissement de l'azote des plantes développées; quand on n'a pas fourni au sable stérile, dans lequel les graines ont été ensemencées, de germes provenant de nodosités, les pois n'ont fait aucun gain d'azote atmosphérique.

Les points acquis au commencement de l'année 1891 sont donc les suivants :

Le sol arable est susceptible de fixer l'azote atmosphérique, sans doute, par action microbienne (Berthelot).

Les plantes de la famille des légumineuses portant sur leurs racines des nodosités à bactéries fixent l'azote atmosphérique.

Si les deux faits précédents sont les seuls qui aient été démontrés jusqu'à présent, on peut considérer comme vraisemblable que la famille des légumineuses n'est pas la seule qui jouisse de la propriété de fixer l'azote atmosphérique, et qu'entre les graminées qui paraissent vivre, peut-être exclusivement, des matières azotées du sol et les légumineuses qui vivent surtout de l'azote atmosphérique fixé par les bactéries des racines, il existe une série de transitions insensibles.

La longue querelle dans laquelle Boussingault et M. Georges Ville ont été engagés pendant si longtemps touche donc à sa fin, et si M. Georges Ville n'a pas su indiquer les conditions dans lesquelles la fixation de l'azote devient évidente, il est manifeste que c'est son opinion qui finit par triompher et qu'il serait injuste de ne pas proclamer la justesse de l'ensemble de ses observations.

(1) Voyez *Ann. agron.*, les travaux de MM. Prazmowski, Beyerinck, Frank, t. XV, et t. XVI.

(2) *Comptes rendus*, t. CXI, p. 750, 1890.

CHAPITRE IV

LA COMPOSITION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX.

La composition minérale des végétaux s'établit par l'analyse des cendres qu'ils laissent après qu'ils ont été brûlés au contact de l'air. Il n'est pas certain, *à priori*, que les matières minérales qui constituent les cendres concourent toutes à un égal degré au développement de la plante; on conçoit en effet que d'énormes quantités d'eau, circulant dans les végétaux pendant la durée de leur vie, abandonnent dans les organes où l'évaporation est la plus active les substances dissoutes qu'elles renfermaient et que ce soit surtout par la méthode synthétique qu'on ait été conduit à faire le départ entre les substances indispensables au développement de la plante, telles que l'acide phosphorique et la potasse, et d'autres comme la silice ou la chaux qui utiles à certaines plantes ne sont plus indispensables comme les premières. Cette distinction entre les substances minérales qui constituent les cendres est utile, car les anciens agronomes ont tiré de l'analyse des cendres des conclusions qui ne me semblent pas légitimes : avant de conseiller à un cultivateur d'acquérir les engrais minéraux, destinés à rendre intégralement au sol les éléments des cendres, il importe de savoir: 1° si tous ces éléments sont nécessaires au développement de la plante; 2° si le sol lui-même ne renferme pas en quantités suffisantes à l'état assimilable les matières nécessaires au développement de la récolte en terre.

L'analyse des cendres donne donc une première indication sur la constitution minérale des végétaux, précieuse, sans doute, mais insuffisante pour en tirer des règles de conduite; avant de décider l'acquisition des engrais minéraux renfermant les éléments des cendres il faut soumettre les indications déduites de l'analyse : d'abord à des épreuves synthétiques dans lesquelles on élève des plantes dans des sols stériles auxquels on ajoute des engrais incomplets, renfermant par exemple du nitrate de soude, du superphosphate de chaux, des sels de potasse, mais pas de magnésie, ou encore ces mêmes engrais sans silice, etc.; et enfin soumettre à l'analyse le sol sur lequel on veut employer ces engrais pour savoir quels sont les éléments qu'il renferme, en quelles proportions et à quel état ils s'y trouvent; ces connaissances s'acquièrent :

1° par l'analyse exécutée au laboratoire, 2° par les cultures disposées au champ d'expériences, en utilisant encore la méthode des engrais incomplets. Nous aurons occasion dans la suite de cet ouvrage de donner de nombreux exemples de ce mode de recherches ; dans ce chapitre nous nous occuperons seulement de l'étude des cendres qui comprendra :

§ 1. — Méthode d'incinération.

§ 2. — Quantité des cendres laissées par les divers organes des végétaux.

§ 3. — Analyse des cendres.

§ 4. — Matières minérales qui constituent les cendres.

§ 5. — Composition des cendres laissées par les divers organes végétaux à diverses époques de leur développement.

§ 35. — Méthodes d'incinération.

La détermination des cendres présente quelques difficultés, dues à la décomposition des sels produits, à leur volatilité, à leur fusibilité, les précautions que nous allons indiquer ne doivent donc pas être négligées.

L'analyse des feuilles et des tiges sèches est en général facile, quand on doit en préparer une grande quantité, on place les organes desséchés dans un petit fourneau bien propre, sous lequel on dirige la flamme d'un bec de gaz, la combustion activée par le courant d'air est rapide (fig. 23).

Fig. 23. — Préparation de grandes quantités de cendres.

Le bois ne laisse que de petites quantités de cendres, il y a intérêt à le découper en petites bûchettes, à les calciner d'abord au rouge sombre dans un creuset fermé de façon à les réduire en charbon, que l'on brûle ensuite dans une capsule de platine inclinée, ou munie d'un couvercle incliné (fig. 24).

Il convient de remarquer que les écorces et les feuilles sont particulièrement riches en chaux, et que les cendres peuvent renfer-

mer soit du carbonate de chaux si l'incinération a été faite à basse température, soit de la chaux vive si on a chauffé jusqu'au point de décomposition de carbonate de chaux. Pour éviter de peser un mélange de carbonate et de chaux, ce qui donnerait pour deux déterminations successives des nombres différents, il est bon à la fin de l'opération de mouiller les cendres avec une dissolution concentrée de carbonate d'ammoniaque, puis de dessécher lentement et de ne calciner qu'au rouge sombre, de façon à ne pas décomposer le carbonate de chaux formé.

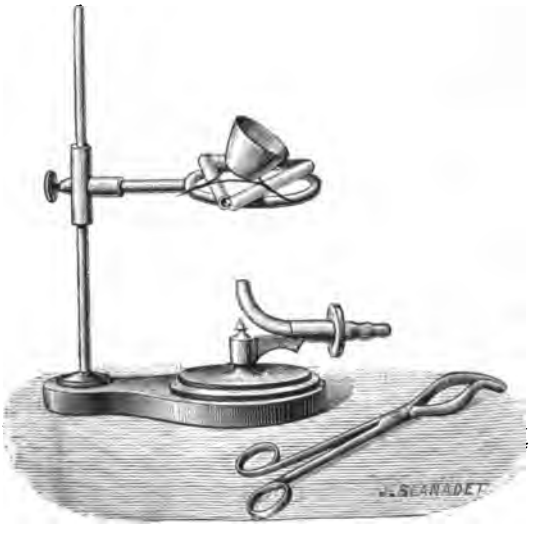


Fig. 24. — Préparation des cendres.

La détermination des cendres des grains est difficile, d'abord parce que lorsqu'on calcine les grains entiers ils sautent hors des capsules et surtout parce que le phosphate de potasse qu'ils laissent à l'incinération fondant très aisément recouvre d'un verre, imperméable à l'air, les parties non encore brûlées, de telle sorte que bientôt l'incinération ne fait plus aucun progrès.

Pour éviter la première cause d'erreur il est avantageux de commencer la calcination dans un petit creuset de terre muni d'un couvercle. Il faut bien se garder de la commencer dans un creuset de platine fermé, les phosphates se réduisent aisément, attaquent le métal, le creuset est percé de petits trous et mis hors de service.

Les grains calcinés sont broyés grossièrement dans un mortier

de porcelaine vernissée, on les introduit ensuite dans une capsule de platine et on commence à chauffer, en inclinant la capsule pour favoriser l'accès de l'air comme le montre la figure 24 (1), après

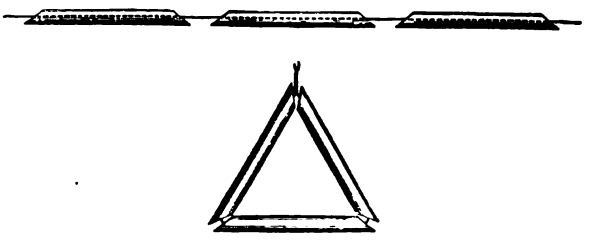


Fig. 25. — Construction d'un triangle destiné à supporter les creusets.

quelques instants la matière cesse de brûler, on laisse refroidir, on introduit une très petite quantité d'eau, pour dissoudre les phosphates, on décante dans un verre, on dessèche et on calcine de nouveau ; la matière rougit, quand on voit que la calcination cesse encore une fois de faire des progrès, on lave et on décante comme précédemment, généralement deux ou trois lavages suffisent pour obtenir une cendre blanche ; on évapore toutes les eaux de lavages dans la capsule jusqu'à sec et on pèse rapidement. Les sels alcalins reprenant de l'eau par l'exposition à l'air, il est bon de laisser la capsule se refroidir sous une cloche (fig. 26), dont l'atmosphère est maintenue sèche par de l'acide sulfurique ou du chlorure de calcium.

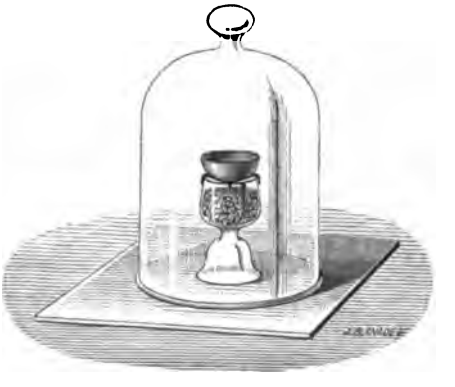


Fig. 26. — Capsule contenant les cendres, mises à refroidir dans une atmosphère sèche.

M. Schlœsing détermine les cendres par un procédé très rigoureux ; il introduit la matière à brûler carbonisée, si elle occupe un trop grand volume, dans une nacelle de platine formée d'une lame

(1) On prépare facilement dans les laboratoires des supports à creuset très résistants, en enfilant dans un gros fil de fer des tuyaux de pipe, puis en pliant le fil en forme de triangle, comme le montre la figure 25.

disposée en demi-cylindre et un peu relevée à l'une des extrémités pour pouvoir être facilement conduite et retirée avec un fil métallique dans un tube de porcelaine ; celui-ci est parcouru par un courant d'acide carbonique, on chauffe au rouge sombre l'espace où se trouve la nacelle, les matières volatiles distillent, viennent se condenser dans les parties froides du tube, le carbone brûle dans le courant d'acide carbonique, mais la température est peu élevée et les cendres en général ne fondent pas, on termine la calcination dans un courant d'oxygène.

Il ne semble pas que ce procédé puisse dispenser des lavages dans les cas d'incinération des grains.

Préparation des cendres sulfuriques. — Quand la détermination des cendres doit être faite rapidement et qu'on se préoccupe davantage de leur poids que de leur composition, ainsi que cela arrive, par exemple, dans l'analyse des sucres bruts, on mouille la matière à incinérer avec de l'acide sulfurique, puis on chauffe doucement ; on donne seulement un coup de feu à la fin de l'opération pour décomposer les bisulfates. Par cette méthode on transforme les carbonates et les chlorures en sulfates ; cette substitution de l'acide sulfurique (40) et de l'oxygène (8) au chlore (35,5) et à l'acide carbonique (22) donne pour les cendres un chiffre trop élevé, aussi souvent retranche-t-on, un peu arbitrairement, du poids des cendres trouvé, un dixième.

L'addition de l'acide sulfurique aux cendres a surtout lieu, ainsi qu'il a été dit, pour estimer la valeur les produits de l'industrie sucrière, M. Violette estime qu'il convient de multiplier les cendres sulfatées des sucres bruts par 0,7 et celles des mélasses et des betteraves par 0,8 pour avoir les cendres réelles (1).

§ 36. — Quantités de cendres laissées par les divers organes des végétaux.

Cendres dans les feuilles. — Th. de Saussure puis L. Garreau ont trouvé que la quantité de cendres augmente dans les feuilles avec l'âge des organes incinérés.

Dans un tilleul (2) la première feuille prise à la base du rameau renfermait, pour 100 de matière sèche, 9,60 de cendres et la huitième 7,60. Dans un orme la feuille la plus ancienne renfermait 16

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. III, p. 489.
(2) *Ann. des sc. nat. bot.*, 4e série, t. XIII, p. 163.

et la plus jeune 9,50 de cendres. Dans un abricotier la différence a été encore plus considérable, puisque les cendres ont passé, pour 100 de matière sèche, de 7,65 à 14,68. Dans les feuilles du hêtre, M. Zoeller a trouvé le 16 mai de 4,65 à 5,76 de cendres, le 18 juillet 7,57 et le 15 octobre 10,15.

MM. Fliche et Grandeau (1) n'ont plus trouvé des différences aussi grandes : si le robinier leur a donné pour les échantillons prélevés : le 2 mai 6,25 de cendres; le 2 juillet 7,75; le 7 septembre 8,22 et le 13 octobre 11,54, les feuilles du merisier et du châtaignier ont donné au printemps et à l'automne des chiffres identiques, et dans le bouleau les différences ont été minimes. En revanche, les mêmes observateurs ont reconnu que les aiguilles du pin noir d'Autriche (2) sont d'autant plus chargées de cendres qu'elles sont plus âgées; celles de l'année ont renfermé au maximum 1,91 de cendres; celles d'un an 2,30; celles de deux ans 2,86; celles de trois ans 3,82 et celles de quatre ans 4,55.

On voit que les cendres sont moins abondantes dans les aiguilles des arbres verts que dans les feuilles caduques, cette ancienne observation de Th. de Saussure se trouve confirmée par les nombres précédents.

Garreau a en outre signalé ce fait très intéressant que, dans les végétaux complètement submergés, les feuilles les plus anciennes sont encore les plus chargées de cendres; la différence est souvent considérable : habituellement de moitié entre les feuilles de la région moyenne de l'axe et celles de la partie supérieure, elle peut être parfois du triple. Outre les cendres, les feuilles aquatiques sont parfois chargées de dépôt extérieur de carbonate de chaux dû, sans doute, à la décomposition de l'acide carbonique du bicarbonate tenu en dissolution dans l'eau.

Cendres dans le bois. — Quand on incinère le bois en distinguant l'écorce, l'aubier et le cœur, on trouve des quantités de cendres très différentes. D'après Th. de Saussure 1,000 parties de bois de chêne sec séparé de l'aubier renfermeraient seulement 2 de cendres; l'aubier en donnerait 4, et l'écorce des troncs de chêne précédents 60. 1,000 parties de tronc écorcé de peuplier renfermeraient 8 de cendres, tandis que l'écorce en donnerait 72.

Nous avons eu occasion de trouver des nombres analogues : dans 1,000 parties de cœur de chêne, 2,8 de cendres, 5,5 dans l'aubier, 56 dans l'écorce.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. VIII, p. 486.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. XI, p. 224.

Cendres dans les racines. — Les quantités de cendres contenues dans les racines sont en général plus faibles que celles que fournissent les organes aériens. Ainsi le professeur Johnson a trouvé que pour 1 kilogramme de matière sèche les racines de turneps fournissaient 80 de cendres et les feuilles 130; les tubercules de pommes de terre 40, et les feuilles 180; les racines de tabac 70 et les feuilles 230. M. Garreau a remarqué que les cendres diminuaient dans les racines terrestres avec l'âge : ainsi les fibrilles âgées de topinambour fournissaient 12,70 de cendres, tandis que les jeunes en donnaient 15,90. On trouvait des résultats analogues pour le *Ribes rubrum* et le *Mercurialis annua;* mais le fait devenait encore plus saillant quand il était observé sur des racines de noyer : une jeune racine de 5,10 de millimètre de grosseur laissait 4,30 de cendres et une racine de 1 décimètre de grosseur 1,56 seulement.

Dans les betteraves la recherche des cendres présente un grand intérêt, car on sait que les matières salines du jus entravent la cristallisation du sucre. Habituellement les racines de betteraves renferment à l'état normal 6 p. 100 de cendres, mais il arrive que par un emploi exagéré d'engrais salin cette quantité s'élève à 8 grammes par kilogramme.

Cendres dans les tiges. — Les déterminations exécutées sur les matières sèches montrent que souvent les proportions centésimales de cendres vont en diminuant à mesure que les végétaux herbacés avancent en âge. Le 23 mai, 1 kilogramme de fèves sèches renfermait 150 grammes de cendres et seulement 122 grammes le 22 juin; 1 kilogramme de tournesol donnait 187 grammes de cendres le 21 juillet et seulement 163 grammes à l'époque de la maturité. Cette diminution est toutefois purement relative, et la quantité réelle de cendres contenues dans la plante entière augmente au contraire jusqu'à la maturité; mais les matières détruites par l'action du feu augmentent encore davantage et la proportion centésimale des cendres se trouve ainsi plus faible; Isidore Pierre a donné du fait précédent un très bon exemple dans ses études sur le colza (1). La richesse en principes minéraux des sommités des rameaux portant leurs fleurs ou leurs siliques pleines éprouve une diminution sensible pendant tout le cours de la végétation puisque 1 kilogramme de matière sèche renferme le 22 mars : 102 kilogrammes de cendres et seulement 75 grammes

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. XL, p. 151.

le 20 juin ; et cependant si l'on détermine la quantité de cendres laissées par la récolte d'un hectare, on trouve que la proportion due aux sommités des rameaux est de 21 kilogrammes au 22 mars et de 977 kilogrammes le 20 juin.

Cendres dans une plante entière. — Ces différences entre les nombres représentant la richesse centésimale en cendres et la quantité qu'en renferme une plante entière se déduit nettement de l'exemple suivant emprunté à un mémoire que j'ai publié avec la collaboration de M. Bréal (1).

Sinapis alba.

	Cendres	
	dans 100 de mat. sèche.	dans la plante entière moins la racine.
20 mai	21.3	0.127
6 juin	21.5	0.358
16 —	17.2	1.893
24 —	15.1	1.630
12 juillet	13.6	1.800
31 —	11.6	2.880
11 août	8.9	2.150

On voit immédiatement que, bien que la proportion centésimale des cendres aille en diminuant, l'assimilation est cependant continue, mais l'élaboration de la matière combustible croissant plus vite que l'assimilation des matières minérales, la quantité que contiennent 100 parties de matière sèche est de plus en plus faible.

La diminution observée du 31 juillet au 11 août dans la quantité de cendres de la plante entière est due évidemment à la chute d'un certain nombre d'organes arrivés à maturité.

§ 37. — Analyse des cendres.

Les cendres des végétaux renferment les acides silicique, phosphorique, sulfurique, chlorhydrique, enfin de l'acide carbonique qui provient de la destruction par l'action du feu des sels alcalins renfermant des acides organiques ; elles renferment de la potasse, de la soude, de la chaux, de la magnésie, des oxydes de fer et de manganèse.

Les cendres ayant été préparées comme il vient d'être dit, et étant conservées dans un flacon à l'émeri, on en prendra des quantités variables avec la proportion des diverses matières à doser ; on sera guidé pour faire ce choix par l'origine des cendres ; c'est ainsi que l'on saura que les graines renferment des quantités notables d'acide phosphorique et de potasse, que les racines de betteraves contiennent souvent une quantité de chlore considérable, etc.

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 161.

Dosage de l'acide carbonique. — Il est rarement utile de doser dans les cendres l'acide carbonique, qui provient en grande partie de la destruction des acides organiques, mais il peut être utile de chercher la quantité de carbonate qui existe dans des organes préalablement desséchés et réduits en poudre, par exemple dans de vieilles feuilles. On y réussira en employant l'appareil ci-joint. En ouvrant le bouchon usé à l'émeri D, on introduira dans le vase la matière préalablement pesée, on ajoute de l'eau distillée ; en A, on a placé de l'acide chlorhydrique dilué, en C de l'acide sulfurique concentré. Tout l'appareil étant ainsi disposé, on le suspend au crochet d'une balance et on détermine son poids ; on ouvre alors le robinet B doucement et on laisse couler l'acide de A ; l'acide carbonique se dégage en E, abandonne à l'acide sulfurique sa vapeur d'eau et s'échappe en F. Quand l'effervescence est calmée, on lie le bouchon-tube D oblitéré pendant la première partie de l'opération par un caoutchouc et une pince de Mohr à un petit tube desséchant, on aspire en F et on remplace ainsi tout l'acide carbonique par de l'air. On détache le caoutchouc de D et on pèse. La diminution de poids de l'appareil donne l'acide carbonique.

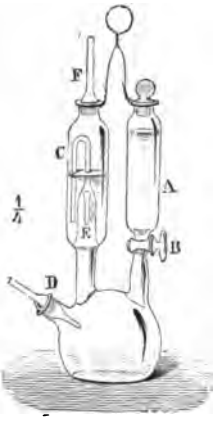


Fig. 27.

Dosage du chlore. — Les cendres à analyser sont traitées par l'eau bouillante, on filtre, la liqueur claire qui renferme les chlorures est additionnée d'un léger excès d'acide azotique, on ajoute du nitrate d'argent, on obtient un précipité blanc cailleboté qui se réunit bien par l'agitation quand il y a un excès de nitrate, on recueille sur un filtre sans pli, on lave jusqu'à ce que l'eau de lavage ne se trouble plus par l'addition de l'acide chlorhydrique, on sèche le filtre à l'étuve ; quand il est sec, on fait tomber le chlorure d'argent dans une capsule de *porcelaine* et l'on chauffe jusqu'à ce que le chlorure d'argent commence à fondre, on brûle le filtre au-dessus de la capsule (1) et on pèse.

En multipliant le poids du chlorure d'argent par 0,248 on a le poids de chlore qu'il renferme.

On peut encore opérer par les liqueurs titrées. On prépare une dissolution de ni-

Fig. 28. — Pipette graduée.

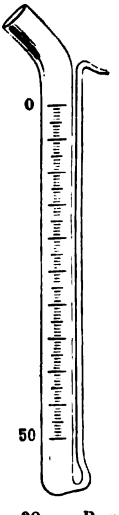


Fig. 29. — Burette graduée.

(1) Il arrive quelquefois que le chlorure d'argent fondu adhère fortement à la capsule et qu'il est difficile à détacher ; on réussit à le séparer en plaçant dans la capsule un fragment de zinc qu'on attaque par l'acide chlorhydrique, l'hydrogène réduit le chlorure d'argent qui s'enlève aisément.

trate d'argent en dissolvant de l'argent vierge dans de l'acide azotique pur et en diluant dans de l'eau distillée ; on sait exactement la quantité d'argent que renferme un volume déterminé de cette liqueur ; d'autre part on dissout du chlorure de sodium dans de l'eau distillée, on dilue la liqueur de façon qu'il faille par exemple 30 c. c. pour précipiter exactement l'argent de 10 c. c. de nitrate.

Ces deux liqueurs étant ainsi préparées on place 10 c. c. de dissolution d'argent mesurés avec une pipette graduée (fig. 28) dans un petit flacon à l'émeri et l'on y ajoute la dissolution nitrique obtenue de 1 gr. de cendres, on agite fortement le flacon muni de son bouchon ; s'il reste de l'argent non précipité, la liqueur s'éclaircit par l'agitation, si au contraire elle reste trouble, c'est qu'on n'a pas employé assez de liqueur d'argent et on en remet 10 c. c., on agite de nouveau ; nous supposons que la liqueur s'éclaircit, on fait alors tomber goutte à goutte la dissolution de chlorure de sodium introduite dans une burette graduée (fig. 29) ; ce chlorure détermine un précipité, qu'on rassemble par l'agitation, on continue ainsi jusqu'à ce que l'addition du chlorure ne détermine plus de précipité, on lit alors le nombre de divisions de la burette qui ont été ajoutées. Pour préciser supposons qu'on ait fait couler 17cc,8 de chlorure, nous savons que pour neutraliser 10cc de la dissolution d'argent, il faut employer 30 c. c. ; il est clair que le chlorure renfermé dans les cendres a remplacé 30 c. c. — 17,8 = 12,2 de la dissolution de sel, et comme on sait ce que cette dissolution renferme de chlore, on calcule aisément la quantité contenue dans les cendres.

Dosage de la silice et du charbon. — On pèse 2 à 4 grammes de cendres qu'on attaque dans une capsule de porcelaine par l'acide chlorhydrique étendu et pur ; la liqueur est évaporée à siccité au bain de sable, reprise par l'acide concentré et traitée par l'eau ; on fait bouillir ; on reçoit sur un filtre la silice devenue insoluble et, si les cendres sont grises, le charbon qui l'accompagne. Quand ce dernier cas se présente, il faut employer un filtre taré avec un autre filtre de même poids et sensiblement de même dimension, provenant du même papier ; ce second filtre est lui-même lavé avec de l'acide chlorhydrique dilué (1).

Les deux filtres, complètement lavés, sont desséchés en même temps à la température de 120° ; en plaçant sur l'un des plateaux de la balance le filtre vide servant de tare, l'augmentation du poids de l'autre donne la quantité de silice et de charbon contenue dans la matière analysée. Ce filtre est ensuite chauffé dans un creuset de platine muni de son couvercle ; lorsque le papier est carbonisé, on enlève le couvercle et on chauffe au rouge vif de manière à avoir de la silice parfaitement blanche. On laisse refroidir le creuset sous la cloche contenant de l'air sec ; sa pesée fournit le poids de la silice, et par différence avec la pesée précédente, celui du charbon qu'on déduit du poids des cendres soumises à l'analyse.

Il arrive quelquefois que la silice reste grise charbonneuse, alors même qu'elle est soumise à une calcination prolongée ; cela se présente notamment pour les cendres très siliceuses qui laissent les feuilles arrivées au terme de

(1) Pour hâter les filtrations, il est avantageux d'employer des entonnoirs de la forme indiquée par la figure 30. Le support qu'elle représente permet de procéder simultanément à plusieurs filtrations.

leur développement; il est probable qu'il se produit lors de l'incinération des silicates fusibles que l'acide chlorhydrique est impuissant à décomposer entièrement.

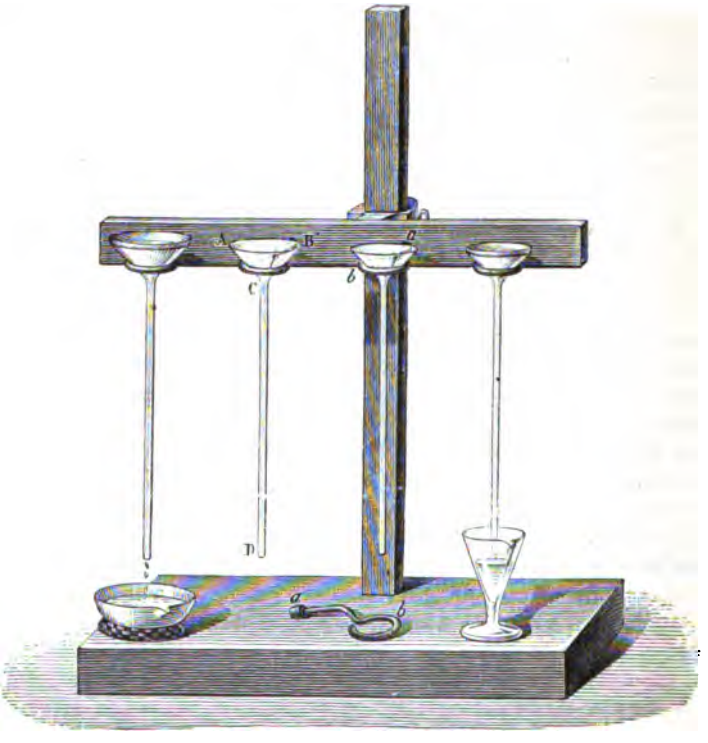


Fig. 30. — Support et entonnoirs à filtration rapide.

Lorsque ce cas se présente, il convient de chauffer dans un creuset de platine cette silice charbonneuse avec deux ou trois fois son poids de carbonate de soude fondu et pulvérisé ; le verre alcalin qu'on obtient ainsi est décomposé dans une capsule de porcelaine par l'acide chlorhydrique ; la liqueur évaporée à sec, reprise par l'eau acidulée, laisse sur le filtre la silice pure ; la dissolution contenant ou pouvant contenir de la chaux et de la magnésie est ajoutée au liquide chlorhydrique provenant du lavage du filtre à silice, qui renferme tous les éléments des cendres. Cette liqueur débarrassée de la silice, comme il vient d'être dit, va être employée à poursuivre l'analyse, on l'additionne d'eau pour obtenir un volume déterminé, 500 ou 1000 c. c., mesurés dans une carafe jaugée, on agite vivement le liquide pour le rendre bien homogène et on emploie aux divers dosages un volume déterminé, les résultats obtenus seront rapportés

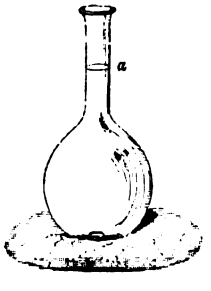


Fig. 31. — Carafe jaugée.

au volume total du liquide et il sera facile de calculer ce que renfermaient les cendres employées.

Dosage de l'oxyde de fer, de la chaux et de la magnésie. — Si on analyse des cendres de bois, de vieilles feuilles riches en chaux, on prendra seulement pour ce dosage 100 c. c. de liquide ; si au contraire on analyse des cendres de graines dans lesquelles la chaux est peu abondante, on en prendra 200 cent. cubes.

La liqueur est additionnée d'ammoniaque qui détermine la formation d'un précipité volumineux, qu'on redissout dans l'acide acétique, celui-ci ne laisse à l'état insoluble que le phosphate de sesquioxyde de fer sous forme d'un précipité blanc jaunâtre ; presque toujours, il y a dans la liqueur assez d'acide phosphorique pour précipiter le sesquioxyde de fer; il est bon toutefois de prélever un peu de liqueur claire, d'y ajouter quelques gouttes de phosphate de soude ; s'il se forme un précipité, il faut ajouter au liquide entier une dissolution de ce sel pour assurer la précipitation de tout l'oxyde de fer ; ce précipité recueilli sur un filtre est lavé puis desséché, on le fait tomber dans la capsule de platine, on calcine et on pèse, ce précipité renferme 53 p. 100 de sesquioxyde de fer.

La liqueur acétique d'où on a séparé le phosphate de fer est portée à l'ébullition, on y verse de l'oxalate d'ammoniaque et on continue à maintenir une lente ébullition ; après une heure environ, on retire le ballon du feu, l'oxalate de chaux se sépare nettement, il tombe au fond du ballon, on verse une ou deux gouttes d'oxalate d'ammoniaque pour s'assurer que toute la chaux est bien précipitée ; si cette addition détermine un trouble, on ajoute une nouvelle quantité d'oxalate et on remet le ballon sur le feu ; habituellement il n'en est pas ainsi et l'oxalate d'ammoniaque ne détermine aucun trouble, on filtre, le précipité recueilli est desséché avec son filtre, puis calciné ; il est bon à la fin de l'opération d'ajouter du carbonate d'ammoniaque, puis de dessécher et de calciner légèrement de façon à être certain de peser du carbonate de chaux. Pour en déduire le poids de la chaux on multiplie par 0,56.

La liqueur acétique précédente débarrassée de la chaux, très diluée par les eaux de lavage des filtres, est concentrée dans une capsule de porcelaine, puis additionnée d'ammoniaque pour précipiter la magnésie à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien ; si les cendres proviennent du bois ou des vieilles feuilles, elles sont riches en magnésie et pauvres en acide phosphorique, et dans ce cas il convient de les additionner de phosphate de soude ; si au contraire elles proviennent des grains, l'acide phosphorique est en excès et cette addition est inutile.

Le précipité cristallin de phosphate ammoniaco-magnésien ne se dépose qu'assez lentement, il faut attendre douze heures pour le filtrer ; ce précipité adhère assez facilement au verre et, malgré les lavages à l'eau ammoniacale, on a quelque peine à le détacher avec les baguettes de verre munies de caoutchouc qu'on emploie souvent pour racler les précipités ; si on n'y réussit pas, on emploie de l'eau aiguisée de quelques gouttes d'acide acétique, qui dissout immédiatement les petites quantités de phosphate adhérentes au verre, on réunit le liquide dans un verre, on sature d'ammoniaque, le précipité reparaît et on l'ajoute à celui qui renferme le filtre.

Quand les lavages à l'eau ammoniacale sont terminés, c'est-à-dire quand une goutte évaporée sur une lame de platine ne laisse aucun résidu, on porte

le filtre à l'étuve, on le sèche, puis on calcine d'abord le précipité, puis le filtre ; on pèse du pyrophosphate de magnésie.

Le coefficient par lequel il faut multiplier le poids du précipité pour avoir la magnésie est égal à 0,360.

Dosage de l'acide sulfurique. — Cet acide est assez rare dans les cendres, on prélève sur la liqueur acide provenant de la filtration de l'acide silicique 200 c. c., on y ajoute du chlorure de baryum, on fait bouillir, on filtre après quelques heures de repos.

Le filtre lavé est séché, le précipité séparé est calciné dans une capsule de platine, on calcine ensuite le filtre, on multiplie le poids du précipité par 0,343 pour avoir le poids de l'acide sulfurique.

Dosage de l'acide phosphorique. — La quantité de liqueur provenant de la filtration de l'acide silicique à employer varie, ainsi qu'il a été dit déjà, avec la nature de l'organe incinéré ; si on a brûlé des grains 100 c. c. suffiront, il en faudra 200 ou 300 si les cendres proviennent du bois ou des vieilles feuilles.

La précipitation directe de l'acide phosphorique peut avoir lieu à la condition d'introduire dans le liquide un acide organique qui maintienne en dissolution l'oxyde de fer et la chaux, on emploie habituellement l'acide citrique, et l'on prépare à l'avance sous le nom de *liqueur citro-magnésienne* le mélange destiné à précipiter l'acide phosphorique, ce liquide porte encore dans les laboratoires le nom de liqueur de *Joulie*. On le prépare en dissolvant :

Acide citrique.....	400	grammes.
Carbonate de magnésie pur.....	40	—
Ou magnésie caustique.....	20	—
Eau distillée.....	500	—

On ajoute ensuite 600 c. c. d'ammoniaque, et de l'eau de façon à faire 1500 c. c.

Si la liqueur se trouble, c'est que le carbonate de magnésie renfermait de l'acide phosphorique, on laisse déposer 48 heures, on filtre et la liqueur se conserve ensuite sans altération.

On ajoute au liquide renfermant l'acide phosphorique à précipiter, concentré dans une capsule de porcelaine si on sait que la liqueur est pauvre, 20 ou 30 c. c. de liqueur citromagnésienne, on agite et on laisse le précipité se produire ; il apparaît sous forme d'une poudre cristalline adhérente au verre ; on filtre après douze heures, et on enlève les dernières traces du précipité ainsi qu il a été dit plus haut.

Nous avons vu que ce précipité peut être calciné et pesé à l'état de pyrophosphate de magnésie, mais on peut également apprécier l'acide phosphorique par l'emploi des liqueurs titrées.

Emploi du nitrate d'urane. — Si on verse dans une liqueur rendue acide par de l'*acide acétique* du nitrate d'urane, on précipite tout l'acide phosphorique immédiatement ; il est difficile de voir le moment où le sel d'urane cesse de précipiter, aussi est-on obligé d'essayer le liquide de temps à autre pour savoir s'il ne renferme pas d'urane en excès ; or l'urane donne avec le ferrocyanure de potassium un précipité rouge lorsque les liqueurs sont très diluées, marron foncé lorsqu'elles sont concentrées ; on a donc un moyen excellent pour constater la fin de l'opération.

Voici comment elle doit être conduite :

Le filtre avec son précipité de phosphate ammoniaco-magnésien est introduit dans une capsule de porcelaine; on y ajoute de l'eau acidulée renfermant un dixième de son poids d'acide azotique : quand après agitation à une douce chaleur le précipité est dissous, on jette dans la liqueur un petit fragment de papier rouge de tournesol, puis on sature l'acide azotique avec de l'ammoniaque très étendue, en agitant constamment, on cesse de verser l'ammoniaque quand le papier est bleu; aussitôt que la saturation a eu lieu, on ajoute une ou deux gouttes d'acide azotique dilué pour rendre de nouveau la liqueur acide.

Elle l'est, si on a bien opéré, très faiblement, cela est de la plus haute importance, l'acide phosphorique n'étant pas précipité par l'urane en présence d'acide azotique libre, il faut donc saturer celui qu'on vient d'ajouter; on y réussit en versant dans la capsule 10c. c. d'une dissolution préparée à l'aide de :

Acétate de soude cristallisé..	100 grammes.
Acide acétique cristallisable.....	50 —
Eau distillée.....	q. s. p. 1 litre.

L'acide azotique libre déplace l'acide acétique et s'unit à la soude, le liquide est donc acide seulement par de l'acide acétique qui dissout très bien le phosphate ammoniaco-magnésien, mais ne dissout pas le phosphate d'urane.

Pour faire la précipitation, on emploie une dissolution préparée avec :

Nitrate d'urane pur.....	40 grammes.	
Eau distillée.....	800 —	environ.

On fait dissoudre et on ajoute de l'ammoniaque pour faire apparaître un léger trouble, qu'on fait disparaître avec quelques gouttes d'acide acétique; on est certain, en opérant ainsi, que le liquide ne renferme pas d'acide azotique libre (1).

On titre la dissolution d'urane à l'aide de phosphate ammoniaco-magnésien, qu'il est facile d'obtenir absolument pur, on en pèse 2 ou 3 décigrammes, on les traite comme il vient d'être dit, et quand ils se trouvent dans la capsule en dissolution acétique, on porte à une légère ébullition et l'on procède au titrage.

La liqueur d'urane est placée dans une burette graduée, terminée à la partie inférieure par un caoutchouc muni d'une pince de Mohr et un tube effilé, ainsi que le montre en A la figure 33, la burette fixée dans un support est placée au-dessus de la capsule; on a d'autre part graissé une assiette en y étendant avec le doigt une légère couche de suif, on y dispose avec une baguette des gouttes d'une dissolution de ferrocyanure de potassium au dixième.

Quand tout est ainsi préparé, on fait couler goutte à goutte la liqueur d'urane en desserrant la pince de Mohr (fig. 33), dans le liquide maintenu à une température voisine de l'ébullition, on agite avec une baguette de verre et on porte après chaque affusion une goutte du liquide sur une des perles de ferro-cyanure; tant qu'on n'observe aucun changement de teinte, on continue à faire couler la dissolution d'urane; aussitôt que le liquide commence à colorer le ferro-cyanure d'une légère teinte rouge, on lit le nombre de divi-

(1) Voir, pour plus de détails, *Ann. agron.*, t. XI, p. 113.

sions de la burette, il indique la quantité de liqueur d'urane nécessaire pour précipiter l'acide phosphorique contenu dans le phosphate ammoniaco-magnésien employé ; on fait alors couler cinq ou six gouttes de liqueur d'urane dans la capsule et on porte de nouveau le liquide sur une perle de ferrocyanure non encore employée, elle doit prendre une teinte rouge plus foncée que la précédente ; s'il n'en était pas ainsi, c'est qu'on n'a pas encore atteint le point de saturation et on continue l'essai jusqu'au moment où la coloration rouge est manifeste ; du nombre de cent. cubes ajoutés,

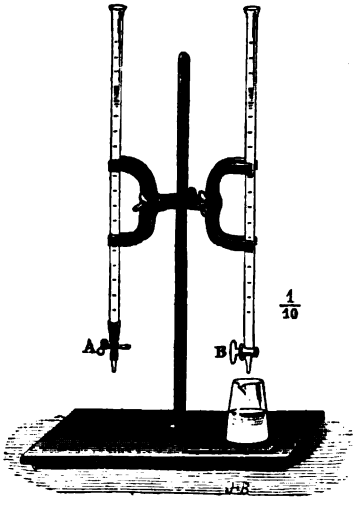


Fig. 32. — Burettes graduées.

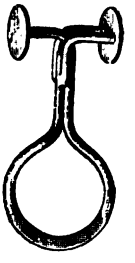


Fig. 33. — Pince de Mohr.

on déduit la teneur en acide phosphorique ; généralement on retranche du nombre de cent. cubes d'urane ajouté 4 dixièmes de cent. cubes, correspondant à l'excès de ce sel que doit renfermer le liquide pour colorer le ferrocyanure.

Dosage de la potasse et de la soude. — Pour exécuter ce dosage dans les cendres, il faut peser une nouvelle quantité de cendres, 1 gramme suffit parfaitement pour les cendres de grain ou de jeunes feuilles, de tubercules ou de racines, mais 1gr,5 seront nécessaires pour les cendres de vieilles feuilles.

On procède d'abord à la séparation de la silice comme il a été indiqué plus haut, sans s'attacher à décomposer les cendres grises, qui ne renferment pas d'alcalis.

On reprend la matière restée dans la capsule après évaporation a sec par de l'acide chlorhydrique étendu, on filtre et on traite le liquide par un excès d'eau de baryte qui précipite tous les éléments sauf les alcalis.

On filtre le précipité volumineux produit par la baryte ; pour séparer l'excès de cette base, on fait d'abord passer un courant d'acide carbonique, puis on porte à l'ébullition, on se débarrasse ainsi de la plus grande partie de la baryte à l'état de carbonate ; pour achever la précipitation, on ajoute un excès de carbonate d'ammoniaque qui amène à l'état de carbonate de baryte le chlorure de baryum formé, on filtre, on évapore à sec et on soumet à une calcination modérée dans une capsule de platine pour chasser les sels ammoniacaux.

On redissout dans l'eau le mélange des chlorures, si le liquide n'est pas limpide, on le filtre, on évapore de nouveau avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique, on sèche et on pèse.

Les chlorures sont alors placés dans une capsule de porcelaine, additionnés d'un excès de chlorure de platine et évaporés à sec au bain d'eau ; le chlorure de platine précipite le chlorure de potassium à l'état de sel jaune clair, insoluble dans l'alcool éthéré.

On fait tomber toute la masse sur un petit filtre à l'aide d'une fiole à jet (fig. 34) renfermant un mélange d'alcool et d'éther, on reçoit le liquide jaune dans une capsule pour y rechercher le chloroplatinate de sodium. Ce sel cristallise en longues aiguilles rouges, qui apparaissent par la concentration, puis le refroidissement du liquide alcoolique. On ne pourra inscrire la soude au tableau de l'analyse des cendres qu'autant qu'on se sera assuré de sa présence par la cristallisation du chloroplatinate de sodium.

Fig. 34. — Fiole à jet.

Pour obtenir le poids de la potasse, on peut peser le chloroplatinate de potassium obtenu, mais il est plus exact d'opérer comme l'ont proposé MM. Corenwinder et Contamine (1). Ils dissolvent le chloroplatinate de potassium recueilli sur le filtre à l'aide d'un jet d'eau bouillante, et le font tomber dans une capsule où se trouve déjà une dissolution chaude de formiate de soude renfermant de 2 grammes à $2^{gr},5$ de sel pour 100 centimètres cubes d'eau. Il est très important de verser le chloroplatinate dans le formiate et de ne pas faire l'inverse.

Le chloroplatinate est immédiatement réduit, on maintient toutefois l'ébullition pendant quinze ou vingt minutes pour être certain que la réduction est complète ; à ce moment on ajoute 8 centimètres cubes d'acide chlorhydrique environ et on continue l'ébullition en agitant constamment (2). L'action de l'acide chlorhydrique est fort curieuse : le précipité jusqu'alors très divisé dans tout le liquide se rassemble rapidement, s'agglutine et tombe au fond de la capsule, laissant au-dessus de lui un liquide absolument clair ; on fait encore bouillir pendant cinq ou six minutes, puis on filtre. Du poids de platine on déduit celui de la potasse, en multipliant par 0,48 ; en retranchant le poids du chlorure de potassium de la somme du poids des deux chlorures, on déduira celui de la soude, mais on ne devra porter cette base au tableau de l'analyse qu'autant qu'on se sera assuré directement de sa présence, soit en faisant cristalliser son chloroplatinate, soit en métamorphosant, comme l'a proposé M. Peligot, les deux bases en sulfate, dissolvant dans l'eau et laissant cristalliser ; l'aspect des sels est caractéristique ; le sulfate de potasse anhydre reste net et transparent, tandis que les cristaux de sulfate de soude s'effleurissent facilement à l'air.

M. Schlœsing emploie l'acide perchlorique pour séparer la potasse de la soude, on trouvera la description de son procédé, ainsi que celle de la préparation du perchlorate d'ammoniaque employé, dans la *Contribution à l'étude de la chimie agricole* de l'Encylopédie Frémy, p. 185.

(1) *Ann. agron.*, t. V, p. 536.
(2) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 431. Modification due à M. Woussen.

§ 38. — Composition des cendres des végétaux.

L'*acide carbonique* existe dans les cendres de tous les végétaux, il appartient soit au carbonate de chaux qui s'accumule dans les vieilles feuilles, soit au carbonate de potasse, provenant de la décomposition des sels alcalins à acides organiques pendant la calcination. C'est au carbonate de potasse que les cendres doivent la réaction alcaline qu'elles présentent habituellement.

La *silice* ou acide silicique est un des éléments les plus communs des cendres, elle est particulièrement abondante dans les cendres des pailles des céréales: 100 de cendres de paille de blé renferment de 65 à 70 de silice. Elle forme parfois sur les plantes des concrétions ayant quelque analogie avec l'opale, on les a remarquées particulièrement sur le grand bambou des Indes (1). La silice est rare au contraire dans les cendres des légumineuses. On la rencontre en quantité très variable dans les cendres des feuilles, suivant l'âge où elles ont été cueillies ; les cendres des jeunes feuilles en sont presque dépourvues, celles des feuilles tombées à l'automne en sont très chargées. Dans un travail qui remonte à 1861, Hugo von Mohl (2) a montré que dans un grand nombre de plantes la silice pénètre les membranes des cellules, tellement que si on détruit par le feu les matières organiques, on conserve un vérilable *squelette* de silice, présentant la disposition de l'organe détruit.

L'acide *phosphorique* se rencontre dans les tiges et les feuilles des jeunes plantes, mais au moment de la chute des feuilles des arbres il a presque complètement disparu, il a été résorbé et se retrouve dans la souche, ou a émigré dans les graines. Les cendres de celles-ci sont, ainsi qu'on le verra plus loin, presque exclusivement formées de phosphates.

L'acide *sulfurique* n'est pas abondant dans les cendres et ne paraît pas exercer une action bien marquée sur la végétation ; nous reconnaîtrons plus loin que si l'emploi du plâtre est dans certains cas très avantageux, son épandage n'a nullement pour but de fournir aux plantes qui en bénéficient une dose d'acide sulfurique plus forte que celle qu'elles trouveraient dans le sol non amendé.

(1) Guibour, *Journal de pharmacie*, mars, avril 1855.
(2) *Botan. Zeit.*, nos 30 à 32 et 49. Voyez aussi *Ann. agron.*, t. XIV, p. 46, une note de M. Palek sur le Tabachir.

Certaines plantes renferment des quantités notables de *chlorures;* non seulement on les rencontre dans les plantes marines, mais aussi dans quelques plantes terrestres du littoral, celles-ci sont peu nombreuses, le sel exerçant en général une influence funeste sur la végétation; aussi convient-il de citer une belle plante très commune le long des côtes en France, en Angleterre, en Hollande, en Allemagne et en Danemark, la *glaucie* (Glaucum flavum D. C.), susceptible de donner en quantité notable une huile comestible, propre à l'éclairage et à la fabrication du savon (1). S. Cloëz a dosé dans les cendres de la tige 32,8 de sel marin p. 100, mais la graine en renfermait beaucoup moins : 1,457 p. 100.

Avant la découverte de la préparation industrielle du carbonate de soude, on cultivait sur les bords de la mer les *salsolas* dont les cendres renferment non seulement du chlorure de sodium, mais en outre du carbonate de soude.

Un certain nombre de plantes terrestres habitent volontiers le bord de la mer, si elles trouvent à s'approvisionner d'eau douce; on sait que l'île de Ré est couverte de vignes qui ne reçoivent comme engrais que des varechs qu'on expose pendant l'hiver à l'action de la pluie pour les débarrasser du sel dont ils sont imprégnés lorsqu'ils sortent de la mer. Le beau vignoble d'Aigues-Mortes, planté dans les sables du littoral où il est à l'abri du phylloxera, montre encore que les vents marins qui transportent des buées de sel n'exercent pas une action bien fâcheuse sur les plantes robustes.

Si quelques plantes ne peuvent supporter le sel marin, il en est d'autres qui l'absorbent en quantités notables, quand elles végètent aux bords de la mer, mais qui n'en contiennent plus guère quand elles se sont développées dans l'intérieur des terres. Cloëz (2) a comparé la composition de la partie soluble des cendres de quelques plantes récoltées sur les bords de la mer et à Paris au Muséum; il a trouvé les résultats suivants :

(1) S. Cloëz, *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. LIX, p. 129. — Le salin est la partie des cendres soluble dans l'eau.

(2) *Bulletin de la Société chimique*, t. XII, p. 28, 1869.

Composition comparée du salin du chou marin. *Crambe maritima.*

	Du bord de la mer.	Du Muséum.
Chlorure de sodium	49.6	7.9
— de potassium	26.2	8.3
Sulfate de potasse	20.1	78.0
— de chaux	3.2	4.8
	99.1	98.9
Rapport de la soude à la potasse	960	89
	1000	1000

Composition comparée du salin de la moutarde noire. *Sinapis nigra.*

	Du Hourdel. (Baie de la Som.)	Du Muséum.
Carbonate de potasse	22.9	60.36
Sulfate de potasse	47.8	24.30
Chlorure de potassium	10.2	4.21
— de sodium	18.0	10.06
	98.9	99.03
Rapport de la soude à la potasse	200	96
	1000	1000

Il est donc manifeste que la composition des cendres d'une plante varie avec la nature du sol sur lequel elle se développe.

L'iode et le brome se rencontrent dans les cendres des plantes marines.

M. E. Marchand a donné pour la teneur d'un kilogramme de divers fucus desséchés les nombres suivants :

	Fucus.				
	Digitatus.	Saccharinus.	Serratus.	Siliquosus.	Vesiculosus.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Cendres	178.24	138.48	184.63	113.82	155.88
Chlore	57.70	38.96	48.10	37.13	39.42
Iode	9.54	3.78	1.54	0.75	1.12
Brome	1.38	0.34	1.86	0.73	0.94

La *potasse* a été longtemps désignée sous le nom d'alcali terrestre, par opposition à la soude appelée dans l'ancienne nomenclature alcali marin.

La plus grande partie de la potasse employée dans les arts provient des cendres des végétaux ; dans les contrées où les communications sont difficiles, on procède à des incinérations de végétaux pour tirer parti des salins riches en carbonate de potasse qu'ils renferment.

Les résidus de l'industrie sucrière, les mélasses, laissent après la

transformation du sucre en alcool des liquides qui évaporés, puis calcinés, fournissent des salins dont on extrait avantageusement des sels de potasse.

La *soude* est beaucoup moins répandue dans les végétaux qu'on ne le supposait naguère (1), quand on se bornait à la doser dans les cendres par différence, c'est-à-dire quand on portait au tableau de l'analyse comme soude l'alcali manquant pour former avec la potasse dosée la quantité d'alcalis déterminés par le dosage de ces deux bases; à juste titre, Péligot blâme cette méthode, il veut qu'avant d'inscrire la soude parmi les éléments des cendres, on se soit directement assuré de sa présence, en faisant cristalliser son chloroplatinate, ou encore en exposant à l'efflorescence son sulfate.

C'est en employant cette dernière méthode, en amenant les alcalis des cendres à l'état de sulfate et en voyant si ces sels s'effleurissent ou non (2), que Péligot s'est assuré que la soude n'existe dans aucun des végétaux suivants : le blé (grain et paille examinés séparément), l'avoine id.; la pomme de terre, tubercule et tiges; les bois de chêne et de charme, les feuilles de tabac, de mûrier, de pivoine, de ricin ; les haricots, le souci, des ciguës, la pariétaire, la *Gypsophila pubescens*, le panais (feuilles et racines).

Un grand nombre d'auteurs ont cependant signalé la soude dans les cendres, M. Péligot pense que la divergence entre ces résultats et ceux qu'il a obtenus sont dus à ce que ces auteurs ont incinéré des plantes sans enlever par des lavages préalables le sel marin disséminé sur les organes extérieurs, et qu'il est quelquefois impossible d'enlever entièrement (3).

Un certain nombre de plantes appartenant à la famille des *atriplicées* et des *chénopodées* renferment au contraire de la soude ; on en a trouvé dans les cendres de l'arroche, de l'atriplex hastata, du chenopodium murale, de la tétragone, ainsi que dans les betteraves.

Il est donc bien à remarquer que s'il existe des espèces qui prennent ainsi indifféremment la potasse ou la soude ou qui se chargent d'une quantité considérable de chlorure de sodium, quand elles vivent dans une station maritime, il est d'autres plantes qui même dans ces conditions ne prennent que très difficilement la soude. J'en ai eu plusieurs exemples; des pommes de terre cultivées

(1) Péligot, *Comptes rendus*, t. LXV, p. 729.

(2) Le sulfate de potasse est anhydre, le sulfate de soude cristallise au contraire avec 5(H^2O), mais perd facilement cette eau de cristallisation et les cristaux d'abord transparents s'effleurissent, deviennent opaques et tombent en poussière.

(3) *Comptes rendus*, t. LXIX, p. 1276.

en pleine terre, arrosées pendant la durée de leur croissance avec des sels de soude, azotate, phosphate, carbonate, sulfate, chlorure, n'ont pas présenté de soude dans leurs cendres ; mais on en a trouvé dans une pomme de terre élevée en pot, quand la proportion de sel distribué a été considérable ; des haricots élevés en pleine terre et soumis à des arrosages de dissolutions de sels de soude n'ont pas absorbé de soude ; cultivés en pots et arrosés de dissolutions de sel marin en quantités suffisantes pour amener la mort, les haricots présentèrent des cendres très riches en chlorure de potassium sans traces de chlorure de sodium (1).

Parmi les bases la *magnésie* est une de celles qu'on rencontre le plus fréquemment dans les cendres, il n'est pour ainsi dire aucun végétal qui n'en renferme.

A l'aide de l'analyse spectrale, on a constaté dans les cendres la présence de la *lithine*, et celle de traces de *rubidium* (2).

Il est bien à remarquer cependant que non seulement la lithine, malgré les analogies qu'elle présente avec la potasse et la soude, ne peut pas remplacer la potasse, mais qu'elle exerce une action vénéneuse (3).

Les cendres des végétaux renferment très souvent de l'*oxyde de manganèse*, qui les colore en bleu, par suite de la formation du manganate de potasse, l'*oxyde de fer* y est aussi très fréquent ; on a beaucoup discuté dans ces derniers temps l'emploi agricole du sulfate de fer sans arriver à des résultats bien précis. Si une très faible quantité de sels de fer paraît nécessaire à la constitution de la chlorophylle comme l'ont vu successivement Eusèbe Gris (1843). Arthur Gris (4) et plus tard le prince de Salm Hormster qui a réussi à donner la chlorose à des plantes (avoine, colza) élevées dans des milieux privés de fer, et à la faire cesser par l'addition de sels de ce métal ; il est probable que la quantité de fer qui se trouve dans le sol est habituellement suffisante pour qu'une nouvelle addition de cette matière ne soit que rarement utile.

L'oxyde de zinc (5) se rencontre enfin dans les cendres des plantes

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 321.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, t. LXVIII, 3e série.
(3) *Ann. agron.*, t. I, p. 172.
(4) *Ann. des sc. nat. bot.*, VII, p. 201, 1857.
(5) *Ann. des scienc. natur. bot.*, 5e série, t. XX, p. 267 ; 6e série, t. II, p. 222. — Le travail de M. Raulin, sur la végélation de l'Aspergillus Niger, dans lequel il a montré que des traces d'oxyde de zinc ou de fer exercent une action manifeste sur la récolte, ne permet plus de considérer comme indifférente la présence dans les cendres de très petites quantités de divers métaux.

qui se développent sur les sols voisins des mines de zinc. Le fait, signalé par Al. Braun, a été vérifié par M. Sachs (1).

La *chaux* est très abondante dans les cendres d'un grand nombre de plantes, mais son rôle est singulièrement obscur ; en effet l'étude simultanée des terrains sur lesquels croissent certains végétaux et des cendres qu'ils laissent à l'incinération conduit à cette conclusion paradoxale, que si la présence d'une quantité notable de chaux dans le sol empêche le développement de certaines espèces, ces mêmes espèces assimilent une quantité de chaux considérable, et donnent des cendres, présentant une proportion de cette base assez grande, même dans des sols très peu calcaires, pour qu'on soit forcé d'admettre que la haux est utile à leur développement.

On sait, en effet, depuis les travaux publiés par M. Contejean (2) et ceux de MM. Fliche et Grandeau (3), que les espèces autrefois désignées sous le nom de *salicicoles* sont seulement *calcifuges*; c'est ainsi que si le genêt à balai, la bruyère commune, la fougère couvrent des terrains siliceux, ce n'est pas parce que la silice leur est nécessaire, mais tout simplement parce que la chaux leur est nuisible ; on a classé parmi ces végétaux calcifuges le châtaignier, qui, en effet, ne végète bien habituellement que dans des sols dépourvus de chaux, mais qu'on rencontre cependant dans des terrains calcaires du sud de la Corrèze et dans la Dordogne. Les pins maritimes ne prospèrent que dans des sols exempts de chaux, et quand on veut boiser des sols siliceux, on ne réussit bien que sur ceux qui, autrefois en culture, n'ont été ni chaulés ni marnés ; or, si on analyse les cendres des feuilles des châtaigniers, et celles des pins maritimes, on trouve dans les unes et dans les autres des quantités notables de chaux.

MM. Fliche et Grandeau donnent de ces résultats bizarres un exemple remarquable ; ils ont déterminé la composition des cendres d'un rameau de pin maritime bien venant sur un sol ne renfermant dans 100 parties de terre fine que 0,05 de chaux dans le sol et 0,20 dans le sous-sol ; et d'un rameau d'un pin maritime chétif provenant d'une terre dans laquelle le sol contenait 3,25 p. 100 de chaux, et le sous-sol 24,04 ; dans le tableau suivant les analyses des cendres des pins maritimes sont mises en comparaison avec celles d'un pin *laricio* dit pin noir d'Autriche végétant bien sur un sol calcaire.

(1) *Physiologie*, p. 170.
(2) *Ann. des scienc. natur. bot.*, 6e série, t. XX, p. 166.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série, t. XXIX, p. 383.

	Pin maritime bien venant.	Pin maritime mal venant.	Différence en faveur du pin maritime bien venant.	Pin noir d'Autriche.
Acide phosphorique....	9.00	9.14	— 0.14	11.33
— silicique.....	9.18	6.42	+ 2.76	7.14
Chaux	40.20	56.14	— 15.94	49.13
Sesquioxyde de fer.....	3.83	2.07	+ 1.76	3.29
Magnésie.....	20.09	18.80	+ 1.29	13.49
Potasse.....	16.04	4.95	+ 11.09	13.56
Soude.....	1.91	2.52	— 0.61	2.24
	100.25	100.04	»	100.18
Taux p. 100 des cendres.	1.32	1.535	0.205	2.45

Ainsi le pin maritime mal venant s'est chargé dans le sol calcaire d'une quantité considérable de chaux et n'a pu trouver que de faibles proportions de potasse, et suivant les auteurs c'est précisément cette pénurie de potasse qui serait la cause de son peu de vigueur; mais ce qui est fort curieux, c'est que le pin maritime bien venant, végétant dans un sol très pauvre en chaux, en ait assimilé une quantité considérable peu inférieure à celle que renferment les cendres du pin laricio qui se plaît dans les sols calcaires.

Il y a donc une différence essentielle dans l'action de ces deux bases : soude et chaux, qui sont loin de convenir comme la potasse à toutes les espèces.

Sur les terrains calcaires, certaines plantes n'apparaissent jamais spontanément, ces plantes introduites sur ces sols y végètent mal, mais s'y chargent d'une quantité notable de chaux; sur les terrains salés, n'apparaît également à l'état sauvage qu'un nombre limité d'espèces; celles qu'on y introduit, si elles réussissent à s'y maintenir, refusent absolument toute trace de soude, même quand on les arrose avec des dissolutions de ces sels, tandis qu'ainsi que nous venons de le dire les plantes calcifuges acceptent et semblent même rechercher la chaux; l'excès seul leur est nuisible.

En résumé, et ce dernier exemple est de nature à le montrer clairement, l'analyse des cendres ne peut guider aussi complètement qu'on l'avait espéré, ni sur le choix des terrains qui conviennent à certaines espèces, ni sur la nature des engrais qu'il faut leur fournir : le pin maritime et le châtaignier renferment de la chaux dans leurs cendres, il faut cependant éviter de les placer sur un sol calcaire, le froment ne contient pas une proportion notable de chaux et cependant il ne prospère sur les terrains granitiques ou sablonneux qu'après des chaulages.

Nous verrons plus loin qu'en effet les expériences synthétiques sont seules de nature à faire connaître les exigences minérales des plantes, car si la composition des cendres varie d'une famille végétale à l'autre, ainsi que l'ont montré Malaguti et Durocher dans le grand travail auquel ils se sont livrés sur l'analyse des cendres (1), cette composition varie aussi avec la nature du sol sur lequel les plantes se sont développées, d'où l'impossibilité de tirer de ces analyses aucune règle dans l'application des engrais minéraux.

Après avoir indiqué dans le paragraphe précédent la nature des acides et des bases qui forment les cendres, nous devrons maintenant examiner les divers organes des végétaux, pour savoir comment les cendres y sont composées.

§ 39. — Cendres dans les racines et les tubercules.

Racines. Les sels contenus dans la betterave gênant la cristallisation du sucre, on a été naturellement conduit par les intérêts qui entrent en jeu dans la culture de cette racine à étudier avec soin la composition de ses cendres ; elle varie avec la nature du sol et celle des engrais distribués.

Corenwinder a donné la composition des cendres d'un litre de jus extrait de betteraves venant les unes d'Italie, les autres des départements du Nord et du Pas-de-Calais (2) ; la proportion des cendres s'est élevée parfois à 16 grammes, souvent à 8 grammes, mais en général à 6 grammes par kilogramme. Le chlorure de potassium y a varié de $4^{gr},225$ à $0^{gr},380$.

On jugera par les chiffres suivants de la composition des cendres du jus de betteraves développées sous l'influence de divers engrais.

Matières minérales dans 1 litre de jus.	Haubourdin (Nord).		
	Sans engrais.	Engrais chimiques.	Tourteaux.
Chlorure de sodium.....	1.238	0.798	1.611
Potasse.....	2.308	2.327	2.315
Soude.....	0.902	1.125	0.699
Chaux.....	0.216	0.160	0.371
Magnésie.....	0.322	0.293	0.231
Acide sulfurique.....	0.406	0.201	0.182
— phosphorique.....	0.581	0.657	0.444
	5.973	5.561	5.853

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série, t. LIV, p. 257.
(2) *Comptes rendus*, t. LXXIII, p. 95.

Dans l'analyse de Corenwinder l'élément le plus variable a été le sel marin, il est vraisemblable que la terre sans engrais et celle qui a été amendée avec des tourteaux recevaient habituellement de l'engrais *flamand* dans lequel les urines amènent des quantités notables de chlorure de sodium.

Nous donnons ci-dessous quelques analyses de cendres de racines, de tubercules et de bulbes, plutôt comme exemple que comme représentant une composition moyenne qui est impossible à obtenir.

Composition des cendres.

	Racine de garance.	Tubercules. Topinambours.	Tubercules. Pommes de terre.	Bulbes d'oignons.
Carbonate de potasse et de soude..	31.11	31.50	42.43	21.60
Chlorure de potassium.....	3 14	7.50	4.00	2.20
Sulfate de potasse.....	3.93	6.00	2.80	4.00
Phosphate de potasse....	»	30.00	34.70	»
Carbonate de chaux	35.01	»	2.80	12.00
— de magnésie	4.13	»	»	10.00
Phosphate de chaux.....	9.71	16.50	6.78	38.00
— de magnésie.....	»	8.50	2.50	»
— de fer	5.09	»	1.70	»
Silice.....	7.88	»	2.50	»

	Pommes de terre.	Betteraves champêtres.	Navets.	Topinambours.
Acide carbonique.....	13.4	16.1	14.0	11.0
— sulfurique	7.11	1.6	1.6	2.2
— phosphorique	11.3	6.0	6.1	10.8
Chlore.....	2.7	5.2	2.9	1.6
Chaux.....	1.8	7.0	10.9	2.3
Magnésie	7.4	4.4	4.3	1.8
Potasse.....	51.5	39.0	33.4	44.5
Soude.....	»	6.0	4.1	»
Silice.....	5.6	8.0	6.4	13.0
Oxyde de fer.....	0.5	2.5	1.2	5.2
Charbon, humidité, perte	0.7	4.2	5.5	7.6

La composition des cendres n'est donc pas assez fixe pour qu'il soit intéressant d'insister sur les nombreuses analyses exécutées; il importe seulement de savoir, ainsi que nous venons de le voir, que la betterave renferme une dose de matières minérales d'autant plus forte, que les engrais ont été distribués en plus grande quantité, ou que le sol est naturellement plus riche en matières salines et particulièrement en chlorures; la racine prenant des quantités de sels énormes, la proportion de chlore peut varier de 50 à 1. Les fabricants de sucre savent si bien

que la racine de betterave renferme des quantités variables de cendres qu'ils ne se bornent pas à faire établir par l'analyse la richesse en sucre des racines, mais qu'ils déterminent en outre la proportion de cendres.

La composition des cendres des tubercules de pomme de terre est également très variable, jamais cependant elles ne renferment de soude; quand on emploie comme engrais du chlorure de sodium, on augmente la proportion du chlorure de *potassium*, sans profit pour la plante. M. Pagnoul a cultivé des pommes de terre sur des sols amendés soit avec des sels de soude, soit avec des sels de potasse, il a trouvé plus de potasse dans les cendres des tubercules qui ont reçu les engrais potassiques, mais l'excès de chlorure de potassium constaté dans les cendres d'une parcelle qui avait reçu du chlorure de sodium montre que ce sel a réagi sur le carbonate de potasse du sol, et que par double échange il s'est formé du carbonate de soude et du chlorure de potassium assimilé en grande quantité. J'ai rappelé plus haut, p. 150, une observation analogue portant sur des haricots.

§ 40. — Composition des cendres des feuilles des arbres.

Les cendres des feuilles présentent une composition essentiellement variable; au printemps, elles renferment des proportions notables de potasse et d'acide phosphorique comme tous les organes jeunes, mais à mesure qu'elles avancent en âge ces deux substances diminuent, tandis qu'au contraire le carbonate de chaux et la silice augmentent jusqu'à former souvent plus des trois quarts du poids des cendres totales.

Ces deux dernières matières solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique sont insolubles dans l'eau pure et paraissent être déposées par l'eau qui circule dans les tissus et vient s'évaporer dans les feuilles; quant aux éléments minéraux actifs de la végétation, l'acide phosphorique et la potasse, ils sont résorbés et s'accumulent dans le bois pour servir à la nutrition des jeunes organes à la saison suivante.

Nous donnerons quelques exemples de ces changements dans la composition des cendres des feuilles des arbres :

Composition de 100 parties de cendres des feuilles de hêtre (M. le Dr Zoeller) (1).

MATIÈRES DOSÉES.	1re PÉRIODE 16 mai 1861.	2e PÉRIODE 18 juillet 1861.	3e PÉRIODE 14 octob. 1861.	4e PÉRIODE fin nov. 1861.
Soude	2.30	2.34	1.01	»
Potasse	29.95	10.72	4.85	0.99
Magnésie	3.10	3.52	2.79	7.13
Chaux	9.83	26.46	34.05	34.13
Oxyde de fer	0.59	0.91	0.94	1.10
Acide phosphorique	24.21	5.18	3.48	1.95
— sulfurique	»	»	»	4.98
— silicique	1.19	13.37	20.68	24.37
— carbon. et mat. indét.	28.33	37.50	32.20	25.37
	100.00	100.00	100.00	100.00

Composition des cendres des feuilles de différents arbres forestiers prises à diverses époques (MM. Fliche et Grandeau) (2).

ESPÈCE ET DATE de la cueillette.	ACIDE phosphorique.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	SESQUIOXYDE de fer.	SESQUIOXYDE de manganèse.	SILICE.	ACIDE sulfurique.	CHLORE.
ROBINIER.										
1 mai	21.16	20.82	9.67	30 60	6.37	0.91	traces.	3.72	7.39	traces.
3 juillet	8.69	48.64	11.02	19.20	5.71	1.43	Id.	1.67	3.63	Id.
7 septembre.	5.31	72.97	3.50	6.62	3.91	1.21	Id.	2.05	2.42	Id.
18 octobre	1.90	72.00	6.16	3.25	1.34	1.46	10.64	1.68	2.13	Id.
MERISIER.										
28-29 avril	15.80	30.57	7.82	32.78	1.89	0 95	4.42	1.41	4.34	Id.
3 juillet	8.20	38.06	18.38	17.80	6.44	1.29	5.62	1.76	2.46	Id.
7 septembre.	5.93	44.70	14.29	12.15	9.33	1.17	7.39	2.72	1.36	Id.
2 octobre	3.81	44.05	17.79	11.82	5.00	1.19	13.25	2.30	0.79	Id
BOULEAU.										
30 avril	17.46	28.72	4.40	25.54	0.43	0.72	15.87	1.73	5.19	Id.
14 septembre	10.99	40.03	11.68	7.22	1.89	1.20	21.48	2.75	2.75	Id.
9-15 octobre.	8.63	50.76	16.41	2.88	4.57	1.18	9.81	2.54	3.21	Id.
CHATAIGNIER.										
1er mai	19.31	18.41	9.16	31.65	2.39	0.50	11.84	1.59	4.98	Id.
16 septembre.	9.22	39.06	7.11	16.95	5.31	1.33	16.64	1.95	2.42	Id.
12 octobre	8.35	49.50	6.90	10.52	2.59	2.17	12.52	4.67	2.75	Id.

(1) *Les lois naturelles de l'agriculture*, Liebig, p. 885.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. VIII, p. 500.

Au moment où les feuilles tombent à la fin de novembre, leurs cendres sont presque exclusivement composées de carbonate de chaux, de magnésie, de silice et d'un peu de sulfate de chaux.

MM. Fliche et Grandeau ont donné également l'analyse des cendres des feuilles de différents arbres forestiers prises à diverses époques de leur développement; leur composition est reproduite dans le tableau ci-joint.

On y voit très clairement la potasse et l'acide phosphorique diminuer du printemps à l'automne, tandis que la chaux et la silice augmentent. La migration de la potasse est particulièrement sensible dans le robinier et le bouleau, celle de l'acide phosphorique dans le robinier et le merisier. L'accumulation dans les vieilles feuilles de la soude et surtout de l'oxyde de manganèse est curieuse; l'augmentation de la chaux est notable dans le robinier.

Dans le pin noir d'Autriche non seulement la marche en sens inverse de ces divers éléments s'observe dans les aiguilles de l'année, mais aussi dans celles des années suivantes; c'est ainsi qu'à la dernière prise d'octobre 1873, les aiguilles de deux ans renfermaient 61,73 de chaux contre 53,4 au mois de mai; à la première prise de mai des feuilles de trois ans, on trouvait 64,74 de chaux et à la dernière 70,47.

Les jeunes aiguilles d'un an renferment à la première prise 26,32 de potasse, elle est devenue indosable dans les feuilles de trois ans (1). La résorption de l'acide phosphorique n'est plus aussi évidente : dans les feuilles de l'année, le maximum est bien à la première prise d'échantillon au mois de mai, il en est de même pour les feuilles d'un an, mais pour les feuilles de deux et de trois ans le maximum tombe au mois de septembre.

§ 41. — Composition des cendres de quelques tiges herbacées.

La composition des tiges herbacées munies de leurs feuilles varie avec l'état de leur développement; si on les analyse avant que les graines ne soient mûries, elles renferment naturellement tous les phosphates et toute la potasse qui plus tard aura disparu pour venir se concentrer dans les grains, en outre les matières qui forment la partie fixe des cendres qui reste dans la tige augmente-

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. XI, p. 224.

ront non seulement par suite d'une assimilation continuée plus longtemps, mais en outre paraîtront augmenter par suite du départ des principes susceptibles d'émigrer.

C'est ainsi que j'ai trouvé dans les chaumes d'avoine récoltés à Grignon en 1880 les chiffres suivants :

	Chaumes d'avoine (1880).		
	Cendres dans 100 de matière sèche.	Silice dans 100 de cendres.	Silice dans 100 de matière sèche.
6 juillet.....	7.27	33.95	2.46
12 —	6.91	31.95	2.19
18 —	6.003	42.92	2.57
7 août.....	6.68	43.79	2.92

Si on rapporte à l'hectare on trouve que les chaumes du 6 juillet renfermaient 130^{k},7 de cendres et par conséquent 44^{k},3 de silice, tandis que le 7 août ils contenaient 158^{k},2 de cendres et 69^{k},3 de silice, sa proportion avait donc augmenté réellement; en effet le rapport centésimal de la silice du 7 août et du 6 juillet est 1,1, tandis que dans la récolte d'un hectare le rapport est de 1,5.

Il n'en est pas toujours ainsi, Isidore Pierre a trouvé pour le blé que la silice passait par un maximum pour les différents éléments des tiges.

Voici, en effet, les nombres qu'il donne :

Silice.	Par kilogr. de matière sèche.			
	3 juin.	22 juin.	9 juillet.	25 juillet.
Dans les feuilles.....	28.63	47.17	33.28	40.18
— entre-nœuds..	4.61	7.07	6.80	9.06
— nœuds	7.00	6.17	4.67	6.21
	Par hectare.			
Dans les feuilles.....	50.08	72.78	53.15	50.12
— entre-nœuds..	3.65	15.82	15.32	16.47
— nœuds.....	1.37	1.90	1.42	1.61

La diminution constatée du 22 juin au 9 juillet est due à la chute d'organes desséchés.

Les nombres suivants déterminés par Berthier l'ont été sur des tiges arrivées à maturité; ils sont intéressants par les différences qu'ils accusent d'une plante à une autre, tandis que le lin ne renferme que des traces de silice, cet acide est extrêmement abondant dans la paille de blé, de seigle et dans la canne à sucre; tandis que Berthier dose des quantités notables de carbonates de chaux dans le lin, qu'il reconnaît la chaux dans la paille de froment, il n'en

trouve pas dans le seigle, la céréale des pays granitiques et siliceux, où elle ne cède la place au froment qu'après les chaulages.

Composition des cendres de diverses tiges herbacées.

	Lin.	Paille de froment.	Paille de seigle.	Canne à sucre.
Potasse	»	3.40	»	22.00
Carbonate de potasse et de soude	32.68	»	»	»
Chlorure de potassium	1.64	2.90	18.50	»
Sulfate de potasse	6.68	0.30	3.00	»
Phosphate de potasse	»	»	5.00	»
Silicate de potasse	»	»	0.60	»
Chaux	»	15.70	»	»
Carbonate de chaux	33.04	»	»	10.00
— de magnésie	3.54	»	0.50	»
Oxyde de fer	»	2.60	»	»
Phosphate de chaux	20.06	9.00	9.10	»
— de magnésie	»	»	»	»
Acide phosphorique	»	1.20	»	»
Silice	2.96	73.90	61.50	68.00

§ 42. — Composition des cendres des grains.

S'il est impossible de rien dire de général sur la composition des cendres des racines, des feuilles ou des tiges, il n'en est pas de même des grains; leurs cendres sont presque exclusivement formées de phosphates, ainsi qu'on en pourra juger par le tableau suivant. On remarquera combien le phosphate de potasse est abondant dans les graines; de là la difficulté que présente leur incinération; nous y avons insisté plus haut. Très souvent la proportion de phosphate de magnésie excède celle du phosphate de chaux; Berthier a trouvé dans le seigle qu'il a analysé une quantité notable de phosphate de manganèse, mais il est vraisemblable que c'est un cas fortuit; car les nombreuses analyses exécutées depuis ne signalent pas la manganèse comme partie intégrante du seigle.

Richesse en phosphates de 100 parties de cendres.

(Analyse de Berthier.)

DÉSIGNATION DES PHOSPHATES.	GRAINS A L'ÉTAT NATUREL.												GRAINS DÉCORTIQUÉS.		
	Blé blanc, dit blé chartrain.	Blé d'Égypte.	Seigle.	Orge.	Avoine.	Riz de la Camargue.	Maïs de Nemours.	Haricots de Soissons.	Haricots flageolets.	Pois verts.	Lentilles de la grande espèce.	Moutarde blanche.	Gruau.	Orge perlé.	Riz de la Caroline.
Phosphate de potasse.....	50.00	51.76	48.50	52.50	7.50	24.10	41.50	42.70	76.80	66.70	61.70	26 30	50.00	36.60	57.00
— de chaux.....	22.00	20.00	29.20	15.00	16.50	24.10	18 50	8.40	9.70	22.20	6.50	39.80	15.40	25.00	21.00
— de magnésie.....	28.00	28.30	»	25.00	20.00	24.10	38.00	14 30	6.40	6.60	19.60	23.90	33.10	21.60	20.00
— de manganèse.....	»	»	18.30	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Total des phosphates.....	100.00	100.00	96.80	92.50	44.00	72.30	98.00	65.40	92.90	95.50	87.80	90.00	98.50	83.20	98.00

§ 43. — Cendres de plantes entières.

Nous terminons cette longue énumération en transcrivant les tableaux des analyses des cendres des plantes entières récoltées à Bechelbronn, c'est en s'appuyant sur ces dosages, que Boussingault a pu établir le bilan entre les apports des engrais et les prélèvements des récoltes; et montrer, que dans cette ferme qui n'importait pas ostensiblement de matières minérales, les eaux employées à l'irrigation fournissaient aux herbes de la prairie plus qu'il n'était nécessaire pour combler les pertes de matières minérales qu'entraîne fatalement la vente des grains et des animaux.

Composition des cendres provenant des plantes récoltées à Bechelbronn.

SUBSTANCES qui ont donné des cendres.	ACIDES carbonique.	ACIDES sulfurique.	ACIDES phosphorique.	CHLORE	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	SILICE.	OXYDE DE FER, ALUMINE, ETC.	CHARBON, HUMIDITÉ, PERTE.
Pommes de terre.	13.4	7.1	11.3	2.7	1.8	5.4	51.5	traces.	5.6	0.5	0.7
Betteraves champêtres.....	16.1	1.6	6.0	5.2	7.0	4.4	39.0	6.0	8.0	2.5	4.2
Navets.....	14.0	10.9	6.1	2.9	10.9	4.3	33.7	4.1	6.4	1.2	5.5
Topinambours....	11.0	2.2	10.8	1.6	2.3	1.8	44.5	traces.	13.0	5.2	7.6
Froment.....	0.0	1.0	47.0	trace.	2.9	15.9	29.5	Id.	1.3	0.0	2.4
Paille de froment..	0.0	1.0	3.1	0.6	8.5	5.0	9.2	0.3	67.6	1.0	3.7
Avoine.....	1.7	1.0	14.9	0.5	3.7	7.7	12.9	0.0	53.3	1.3	3.0
Paille d'avoine....	3.2	4.1	3.0	4.7	8.3	2.8	24.5	4.4	40.0	2.1	2.9
Trèfle.....	25.0	2.5	6.3	2.6	24.6	6.3	26.6	0.5	5.3	0.3	0.0
Pois.....	0.5	4.7	30.1	1.1	10.1	11.9	35.3	2.5	1.5	traces.	2.3
Haricots.....	3.3	1.3	26.8	0.1	5.8	11.5	49.1	0.0	1.0	Id.	1.1
Fèves.....	1.0	1.6	34.2	0.7	5.1	8.6	45.2	0.0	0.5	Id.	3.1

CHAPITRE V

NUTRITION MINÉRALE DES PLANTES.

Nous avons énuméré dans le chapitre précédent les diverses matières qui constituent les cendres des végétaux; ces substances ont-elles, pour le développement de la plante, une importance égale, ou bien quelques-unes d'entre elles sont-elles nécessaires; tellement

que les végétaux seraient incapables de croître normalement, si elles faisaient défaut? Tel est le point que nous devons d'abord élucider.

Il est inutile d'insister sur l'intérêt que présente cette discussion; il est manifeste que si quelques matières minérales sont nécessaires à la production végétale, nous devrons les rechercher dans le sol que nous cultivons et nous hâter de les introduire si elles font défaut.

§ 44. — Méthodes de recherche.

L'analyse des cendres donne déjà sur l'importance des matières minérales quelques renseignements; dès 1804, Th. de Saussure écrivait très judicieusement : « J'ai trouvé le phosphate de chaux dans les cendres de toutes les plantes que j'ai analysées et il n'y a pas de raison de supposer qu'elles peuvent exister sans lui. »

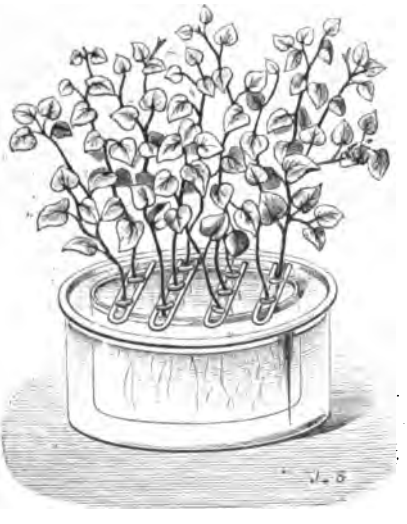


Fig. 33. — Haricots enracinés dans l'eau.

On obtient toutefois des résultats beaucoup plus précis en procédant par voie synthétique. En préparant un sol stérile, formé de sable et de gravier, puis en y ajoutant toutes les matières minérales qui constituent les cendres des végétaux, sauf celle dont on veut connaître l'utilité, en donnant enfin des nitrates comme engrais azotés, on arrive avec plus de certitude au résultat cherché qu'en se bornant à l'analyse.

C'est en employant cette méthode que Boussingault, M. Georges Ville et nombre d'autres expérimentateurs sont arrivés à fixer le rôle des diverses matières minérales; ces expériences ont été répétées depuis à bien des reprises différentes, et ce procédé de recherche est devenu classique.

Au lieu de semer les graines dans un sable stérile, les physiologistes allemands enracinent les plantes en expériences dans des dissolutions nutritives; on opère dans de bonnes conditions en

plaçant les graines sur des baguettes de verre maintenues à côté les unes des autres par de petites bandes de caoutchouc, ou façonnées en forme d'U, très allongé comme le montre la figure 33, ou enfin en plaçant les graines sur des baguettes contournées en forme de V dont les branches reposent sur les bords des flacons comme le montre la figure 34.

C'est en employant cette méthode des dissolutions nutritives que M. Raulin a exécuté ses belles recherches sur l'*Aspergillus niger*.

Quand on suit le développement des plantes dans les dissolutions, on rencontre cependant cette difficulté, que les dissolutions maintenues dans des vases transparents sont bientôt envahies par les *algues* qui prélèvent une partie des matières nutritives introduites, et que lorsqu'au contraire les racines sont plongées dans un vase opaque, les liquides nourriciers sont envahis par les ferments anaérobies, prennent facilement une odeur putride, ce qui nécessite des renouvellements fréquents; en outre les végétaux vivant habituellement dans le sol ne s'accommodent des dissolutions nutritives qu'en modifiant profondément la forme de leurs racines, les betteraves notamment ne forment guère que du chevelu et pas de souche charnue, aussi en général préfère-t-on employer le sable calciné.

Fig. 34. — Disposition employée pour suivre la végétation des plantes enracinées dans l'eau.

Les pots de porcelaine vernissée ou de verre qui le renferment doivent être percés de plusieurs trous pour que l'aération soit facile, ils reposent dans un plat de porcelaine ou de verre dans lequel on maintient constamment de l'eau d'arrosage; les pots sont élevés au-dessus du plat de quelques millimètres; il arrive souvent que les racines passent par les orifices et pénètrent dans l'eau sous-jacente, cela ne présente pas d'inconvénients; mais on aurait au contraire des résultats absolument fautifs si on se bornait à placer les pots de sable sur

le sol, les racines s'échappant par les orifices pénétreraient dans la terre et y puiseraient des aliments différents de ceux dont on recherche l'effet.

§ 45. — Influence des divers éléments minéraux.

Acide phosphorique. — La méthode que nous venons d'indiquer permet de démontrer, avec la plus grande netteté, que l'acide phosphorique est nécessaire au développement des végétaux ; dès 1856, Boussingault a cultivé un hélianthus dans du sable, en l'additionnant seulement de salpêtre, la plante ne s'est développée que misérablement : quand on mit fin à l'expérience, elle pesait après dessiccation $1^{gr},175$; une plante analogue âgée de 86 jours développée dans le même sable, mais additionnée à la fois de phosphate et de salpêtre, pesait $21^{gr},22$.

M. Georges Ville a employé la même méthode de recherche ; à du sable calciné, il ajoute du nitrate de potasse et en outre un mélange complexe formé de :

Phosphate de chaux.
— de magnésie.
Sulfate de chaux.
— de fer.
Chlorure de sodium.
Silicate de potasse.
— de soude.

En cultivant du froment, il obtient 18 à 22 gr. de plantes sèches, mais si, laissant tous les autres éléments semblables, il supprime le phosphate de chaux, la végétation languit et la plante périt après n'avoir atteint qu'un développement rudimentaire, son poids est seulement après dessiccation de $0^{gr},48$.

Ces résultats n'ont été obtenus que lorsque le froment a été semé dans des pots de biscuit de porcelaine absolument exempts d'acide phosphorique, les traces de phosphates que renferment les argiles, habituellement employées à la fabrication des pots de terre, suffisent pour élever de quelques grammes, les rendements des récoltes ; il est bon de soumettre également les semences, qu'on veut employer dans ces expériences, à une étude attentive, celles qui renferment une proportion notable d'acide phosphorique devant être exclues.

Les résultats suivants que nous empruntons à M. Georges Ville, montrent que dans une terre très pauvre en phosphates, le

froment absorbe jusqu'aux dernières traces de ces sels et les utilise de telle sorte, que le poids de la récolte sèche augmente en raison de l'acide phosphorique assimilé.

M. Georges Ville cite, en effet, les analyses suivantes de trois variétés de blé qui, cultivées dans un sol privé de phosphates, lui avaient donné des résultats différents des précédents :

Noms des variétés.	Poids de 22 grains employés à la semence.	Acide phosphorique p. 100.	Acide phosphorique dans les 22 grains.
Fenton d'Écosse.....	1gr,16	0gr,85	0gr,009
— du Pin.....	0 ,80	0 ,62	0 ,005
Saumur de mars.....	0 ,82	0 ,45	0 ,004

Rendement moyen de ces trois blés dans un sol exempt de phosphate de chaux mais dans des pots de terre ordinaire.

1858.	Fenton d'Écosse.....	12gr,57
1859.	— du Pin.....	7 ,00
1860.	Saumur de mars.....	6 ,03

La très faible quantité d'acide phosphorique contenue dans la terre des pots a soutenu la récolte, mais en outre, le très petit excès de phosphate du Fenton d'Écosse a suffi pour élever notamment son rendement au-dessus de celui des autres variétés.

M. Georges Ville cite encore une expérience exécutée sur des pois qui, même sans engrais phosphatés, ont donné la première année une récolte passable : les phosphates contenus dans la graine normale ayant suffi à soutenir la végétation; les graines obtenues des pois élevés dans cette première expérience se sont naturellement trouvées très pauvres en acide phosphorique, semées dans un sol exempt de phosphates elles n'ont pu fournir de récolte.

Ces expériences suffisent pour établir que, suivant l'expression de Th. de Saussure, les plantes ne peuvent vivre sans phosphates ; et, si on ajoute aux faits précédents constatés au laboratoire, les innombrables observations des cultivateurs, élevant leurs rendements quand ils ajoutent des phosphates aux sols qui en sont dépourvus, on sera convaincu que l'acide phosphorique est nécessaire à la vie végétale, comme le sont l'azote ou le carbone.

Potasse. — Il en est de même de la potasse; pour le démontrer, il faut toutefois avoir recours à l'expérience dans les sols artificiels, car les terres arables sont en général trop bien pourvues de cet élément, pour que l'addition des engrais potassiques y exerce habituellement une influence marquée.

M. Georges Ville l'a nettement observé : « Si on exclut la potasse de la culture du froment, la végétation reste chétive et languissante. La forme des plantes révèle même un caractère inusité. La tige ne se dresse plus verticalement, elle se contourne sur elle-même et s'incline à la manière des plantes rampantes. » Il est remarquable que, malgré leurs analogies chimiques, la soude ne puisse remplacer la potasse.

Culture de 1860. — Engrais complet.

	Avec soude mais sans potasse.			Avec soude et potasse.	
	I.	II.		I.	II.
Paille et racines.	7gr,80	6gr,37	Paille et racines.	16gr,14	15gr,25
Grains.....	0 ,45	0 ,20	Grains.....	4 ,90	4 ,55
	8gr,25	6gr,57		21gr,04	19gr,80

Le rôle que remplit la potasse dans l'organisation végétale a été étudié en outre par MM. Nobbe, Erdmann et Schœder (1). Ces habiles physiologistes ont cultivé du sarrazin dans des dissolutions nutritives dont ils ont fait varier la composition, de façon à éclairer par l'expérience les trois questions suivantes :

1° Comment se comporte la plante dans une solution d'ailleurs complète, mais privée de potasse, et quelles sont les causes des phénomènes particuliers qui apparaissent dans cette culture ?

2° Comment se comporte la plante dans des solutions où la potasse est engagée dans des combinaisons différentes, et quelles sont les causes d'une action plus ou moins favorable à l'un ou l'autre de ces sels ?

3° La soude et la lithine peuvent-elles remplacer physiologiquement la potasse ?

L'examen microscopique, la pesée des plantes, leur analyse, conduisirent à des conclusions dignes d'intérêt.

Lorsque la potasse manque, l'accroissement de la plante est arrêté : ni la soude, ni la lithine ne peuvent remplacer la potasse dans ses fonctions physiologiques ; la lithine exerce même une action délétère. L'arrêt de développement est dû à l'incapacité de la chlorophylle de produire de l'amidon ; la jeune plante végète d'abord aux dépens de l'amidon de réserve contenu dans la graine ; mais celui-ci consommé, elle persiste dans un état d'inanition parfait

(1)*Ann. agron.*, t. I, p. 172, 1875.

qui rend même inutiles les autres aliments minéraux. Quand on ajoute ensuite de la potasse à la solution nutritive, la plante commence immédiatement à se ranimer; il se forme de l'amidon dans les cellules à chlorophylle; et les auteurs répondent à la première question posée, en disant que : les grains de chlorophylle n'engendrent *d'amidon autochtone* que sous l'influence de la potasse, quelle que soit d'ailleurs la forme sous laquelle cette base se présente (1).

Il ne suffit pas pour que la végétation suive son cours régulier que les cellules à chlorophylle élaborent de l'amidon, il faut encore que cet amidon se dissolve, chemine à travers les tissus, et après avoir subi la série de métamorphoses qui l'amène à l'état de cellulose, serve à former des organes nouveaux; or la nature de la combinaison sous laquelle la potasse est présentée à la plante exerce, d'après les auteurs, une influence décisive sur cette migration de l'amidon; l'expérience a montré que le chlorure est la combinaison du potassium la plus favorable à la végétation du sarrazin. Les sujets enracinés dans une dissolution nutritive renfermant du chlorure de potassium ont non seulement formé de l'amidon dans les cellules à chlorophylle, mais en outre ont utilisé cet amidon à la formation d'organes nouveaux. L'azotate de potasse un peu moins favorable que le chlorure s'en rapproche le plus : le sulfate et le phosphate de potasse causent tôt ou tard, au contraire, une maladie particulière qui consiste dans l'accumulation passive de l'amidon dans les feuilles.

Il faut bien reconnaître, au reste, que cette dernière conclusion n'est pas absolument solide; en effet, les dissolutions salines employées étant fort complexes, il s'y est fait certainement des échanges de bases et d'acides, de telle sorte que la dissolution ne présente pas la composition que les auteurs leur assignent d'après les sels qu'ils ont mélangés, et il est probable, ainsi que l'a fait observer M. J. Vesque, dans la traduction qu'il a donnée aux *Annales agro-*

(1) Cette conclusion a été combattue récemment par M. Lupke (1): en cultivant des haricots dans des dissolutions privées de potasse, il les a vus former de l'amidon dans leurs feuilles, il a vu en outre cet amidon émigrer pour former d'autres organes. Peut-être ce désaccord tient-il à la quantité notable de potasse contenue dans la graine mise en expérience; il est évident qu'un haricot renferme un poids de potasse bien supérieur à celui qu'on trouve dans un grain de sarrazin. Si M. Lupke avait employé dans ses expériences des haricots de deuxième génération provenant d'une première culture faite sans potasse, il aurait peut-être retrouvé les faits signalés par MM. Nobbe, Erdmann et Schrœder. Il est manifeste cependant que de nouvelles recherches sont nécessaires pour élucider le point contesté.

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 98

nomiques, que la maladie observée, quand les plantes ont été enracinées dans des dissolutions renfermant du phosphate ou du sulfate de potasse, tient moins à la forme de la combinaison qu'à la quantité considérable d'acide phosphorique ou d'acide sulfurique introduits. Quoi qu'il en soit, on peut déduire des faits précédents, que la potasse est un élément nécessaire à la vie végétale et qu'elle ne peut être remplacée ni par la soude ni par la lithine; c'est au reste ce que l'absence habituelle de soude dans les cendres permettait de prévoir. — Il est entendu qu'onne doit pas tirer de cette notion physiologique cette conclusion qu'il faut s'empresser d'acquérir des engrais potassiques. Les terres arables sont habituellement riches en potasse, et il est rare que les engrais de potasse exercent une influence marquée; ces questions seront au reste discutées avec tout le développement qu'elles comportent dans les chapitres : *constitution chimique des terres arables* et *engrais de potasse*.

Chaux. — Nous avons vu plus haut, § 7, que la présence de la chaux est éminemment favorable à la plupart des jeunes plantes au moment où elles commencent leur évolution; nous avons reconnu avec M. J. Boehm, puis M. von Liebenberg, qu'un grand nombre de graines vident mieux leurs cotylédons au profit des jeunes radicelles et des tigelles, dans une eau renfermant des sels calcaires que dans l'eau distillée, mais que cependant l'évolution est encore possible dans l'eau distillée à condition que la température soit élevée; d'où cette conclusion : la chaux est favorable mais non nécessaire à la germination.

M. G. Ville a pu supprimer la chaux dans un engrais complexe destiné à un sol stérile portant une culture de blé sans voir diminuer la récolte; mais au contraire cette suppression a été fâcheuse quand le sol renfermait de l'humus.

M. Raumer dans un travail où il cherche à fixer le rôle de la chaux et celui de la magnésie, conclut que la chaux est particulièrement utile à la formation des parois des cellules.

En voyant les légumineuses apparaître sur les sols qui n'en portaient pas, aussitôt que ces sols reçoivent des amendements calcaires, on peut être certain que si la chaux n'est pas nécessaire à leur croissance, ce que nous ignorons, faute d'expériences régulièrement disposées pour élucider ce sujet, elle exerce au moins sur le développement de cette famille une action tellement favorable qu'elle lui permet de lutter victorieusement contre les autres espèces qui jusqu'alors occupaient le sol.

Nous discuterons au reste cette question en détail, au chapitre consacré aux amendements calcaires.

Magnésie. — D'après M. G. Ville, la magnésie ne pourrait faire défaut dans le sol sans compromettre le développement du blé, et celui du sarrazin.

Equivalence entre les bases. — Les nombreuses analyses dues à M. Peligot ont montré que la plupart des végétaux de grande culture ne renfermaient pas de soude, et les expériences synthétiques dont nous avons donné les résultats dans les pages précédentes ont également montré que la soude ne se rencontre pas dans les plantes quand elles sont cultivées dans des conditions normales, même lorsque les sels de soude leur sont offerts à profusion. Il est donc manifeste que la soude ne peut habituellement remplacer la potasse. Il est à remarquer cependant que les betteraves assimilent la soude comme la potasse ; en outre, nous avons vu, au moment où nous avons donné la composition des cendres que la plupart des plantes renferment de la chaux et de la magnésie et on est en droit de se demander si ces bases peuvent, dans une certaine mesure, se substituer les unes aux autres.

Cette question a été étudiée par M. Pellet (1). Il donne comme exemple de ces substitutions les analyses suivantes :

	Tabac		
	du Brésil.		du Lot.
	N° 1.	N° 2.	
Chaux	15.0	20.8	28.1
Potasse	47.1	38.1	19.5
Magnésie	8.4	7.95	8.1
Acide sulfurique calculé pour la saturation des bases	92.25	90.95	90.0

Les bases sont donc dans 100 de cendres dans des proportions à peu près équivalentes, la magnésie n'ayant pas subi de grandes variations, la substitution aurait eu lieu entre la potasse et la chaux. L'auteur donne un grand nombre d'exemples analogues, s'appuyant malheureusement sur des analyses fautives dans lesquelles la soude apparaît dans les cendres de plantes où elle n'existe jamais, ce qui infirme les conclusions formulées ; la question est toutefois intéressante et mérite d'être reprise avec de nouveaux documents.

Chlorures. — Quelques faits de grande culture appuyant les

(1) *Étude sur la composition générale des végétaux* (*Ann. de chim. et de phys.*, 5e s., t. XVII, p. 145, 1879.

observations de MM. Nobbe, Erdmann et Schrœder résumées plus haut, sont de nature à montrer que les chlorures ont une influence heureuse sur la migration des principes immédiats. M. de Gasparin a observé que, sur une terre légèrement salée des environs d'Orange, les récoltes de grains étaient en général excellentes, si les pluies avaient été assez abondantes, au moment des semailles, pour que les jeunes plantes n'eussent pas à souffrir de la concentration de la dissolution saline qui abreuve leurs racines ; il a remarqué que toutes les fois que la levée a été bonne, les plantes accomplissent très régulièrement toutes les phases de leur évolution et notamment mûrissent bien leurs graines.

Dans une série d'expériences exécutées en 1866 et 1867, sur l'emploi agricole des sels de potasse, j'ai reconnu que si le sulfate de potasse épuré ne produisait pas d'effet avantageux sur la culture du blé, la matière vendue par les usines allemandes sous le nom d'*engrais de potasse*, très chargée en chlorures, a déterminé au contraire un surcroît de récolte considérable ; dans une des séries d'expériences, la parcelle sans engrais ayant fourni 16 hectolitres de grains, on en obtint 30, par l'addition de l'engrais de potasse.

Les effets du chlorure de potassium sont cependant irréguliers ; pendant plusieurs années, je l'ai essayé sans succès sur la culture de l'avoine ; mais, en 1884, le mélange d'azotate de soude et de chlorure de potassium m'a fourni à l'hectare sur une parcelle : 32 quintaux métriques de grain et sur une autre 34. Comme le prix du sel marin ou même celui du chlorure de potassium sont peu élevés, que les quantités à employer sont faibles, les praticiens devront essayer l'action de ces chlorures qui, ainsi qu'il vient d'être dit, est parfois très avantageux. Leur rôle est-il seulement de favoriser la migration des principes immédiats d'un point de la plante à l'autre, ou bien au contraire exercent-ils sur le sol lui-même une transformation favorable? nous l'ignorons. Aujourd'hui que le rôle des organismes inférieurs, qui existent dans le sol, sur les métamorphoses qui s'y produisent, commence seulement à être entrevu, les interprétations du rôle des agents employés deviennent singulièrement délicates et il est sage d'enregistrer les faits, sans essayer d'en donner une explication sans doute infiniment plus complexe qu'on ne le croyait naguère.

Silice. — Nous verrons plus loin que les analyses d'Isidore Pierre établissent que la silice n'a pas, sur le développement des céréales, l'intérêt qu'on lui avait accordé *à priori*, et que notam-

ment son abondance ou sa rareté dans le sol n'exercent aucune influence sur la résistance que présentent les pailles à la verse; mais cette substance se rencontre cependant en telle quantité dans les cendres de certaines espèces, qu'il était utile de chercher si elle favorise leur développement.

M. von Hohnel a exécuté sur l'assimilation de la silice des expériences intéressantes (1) : on rencontre chez quelques espèces de *lithospermum*, des fruits recouverts d'un épiderme complètement silicifié, et pour savoir si, l'accumulation de la silice dans cette enveloppe, est nécessaire au développement de la plante et si elle est incapable de mûrir ses fruits dans un milieu exempt de cet acide, l'auteur a élevé une de ces plantes dans une dissolution nutritive privée de silice. Après une végétation de deux mois, ce sujet fructifia et donna en tout neuf péricarpes mûrs; il ne différait pas sensiblement d'une plante normale, cependant les poils qui recouvraient la tige de la plante sans silice étaient moins durs que ceux des individus qui avaient végété dans une dissolution pourvue de cet acide.

Les petits fruits mûrs avaient une couleur d'un blanc grisâtre; ils avaient la dureté du spath calcaire, et leur surface était rugueuse, comme légèrement tuberculeuse. Traités par l'acide chlorhydrique, ils produisirent une vive effervescence. L'analyse ne dévoila aucune trace de silice; ainsi, bien qu'elle soit habituellement très abondante dans le *lithospermum arvense*, elle peut y faire défaut, sans que son absence empêche cette plante d'arriver à maturité.

M. F. Wolf (2) réussit à élever de l'avoine dans une dissolution nutritive exempte de silice ; mais les plantes ne furent jamais aussi vigoureuses que celles qui étaient enracinées dans des dissolutions renfermant de la silice.

Ainsi, dans le cas le plus favorable, quand les dissolutions nutritives formées de nitrates, phosphates etc., présentaient une concentration de $0^{gr},51$ par litre, on obtint $4^{gr},162$ de grains avec une dissolution privée de silice; $5^{gr},408$ quand cette matière entra pour 27 p. 100 dans les substances dissoutes et $7^{gr},693$ quand elle fut dans la proportion de 42 p. 100 de la matière dissoute. Dans ces mêmes dissolutions les poids de paille furent respectivement $21^{gr},480$, $23^{gr},908$ et $27^{gr},891$. Si la silice n'est pas nécessaire à l'avoine elle lui est donc avantageuse.

(1) *Ann. agron.*, t. III, p. 633.
(2) *Ann. agron.*, t. VII, p. 467.

M. Victor Jodin (1) a encore exécuté sur ce sujet une série d'expériences du plus grand intérêt. Il a élevé dans une dissolution exempte de silice : un pied de maïs dont il a obtenu 9 graines fertiles; tandis qu'une plante normale renfermait pour 100 de matière sèche : $3^{gr},27$ de silice, celle qui avait été cultivée dans l'eau n'en contenait que $0^{gr},4$; les graines provenant de cette première génération furent élevées dans une dissolution nutritive encore exempte de silice; la plante sèche pesait $8^{gr},996$ et renfermait 12 grains fertiles, pour 100 de matière sèche elle contenait $0^{gr},2$ de silice; les graines semées donnèrent une troisième génération et de celle-ci on obtint des graines, qui furent élevées encore dans une dissolution exempte de silice. Les graines provenant de la troisième génération furent élevées les unes, dans la terre et les autres dans une dissolution sans silice; les cendres de ces deux plantes furent analysées; la plante enracinée dans la terre reprit une proportion de silice considérable, mais une quantité de potasse très inférieure à celle que contenait la plante élevée dans l'eau, bien qu'on eût employé la même dissolution nutritive pour l'arrosage de la plante en terre et pour l'alimentation de la plante dans l'eau.

De ces expériences, l'auteur conclut que non seulement une graine de maïs cultivée dans une dissolution minérale convenable, peut végéter et former une plante normale sans fixer dans ses tissus une proportion notable de silice, mais encore que cette privation de silice, si contraire aux habitudes spécifiques de la plante, peut être prolongée pendant plusieurs générations successives sans que cette descendance anormale détermine une dégénérescence physiologique attribuable à la continuité de cette privation.

Toutes ces expériences justifient complétement les considérations présentées au début de ce chapitre, et on reconnaît que contrairement à ce qu'on aurait pu penser à priori, il est impossible de déduire de la composition des cendres d'une plante, la nature des engrais minéraux qu'il convient de lui fournir; non seulement, parce que ces engrais peuvent contenir des principes que le sol renferme déjà en quantités suffisantes, pour rendre inutiles un nouvel apport, mais encore parce qu'il ne suffit pas qu'une matière existe dans les cendres d'une plante, pour qu'on puisse conclure de sa présence à son utilité.

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 385.

CHAPITRE VI

ASSIMILATION DES SUBSTANCES MINÉRALES PAR LES PLANTES.

La composition minérale des plantes varie dans une certaine mesure avec la nature du sol dans lequel s'enfoncent les racines; l'analyse des cendres montre cependant que les plantes exercent sur les matières absorbables que renferme la terre, une sélection dont nous devons chercher le mécanisme.

Très souvent, les cultivateurs trouvent avantageux de semer dans la même terre deux plantes différentes: dans l'assolement quadriennal par exemple, ou une céréale de printemps succède aux betteraves, aux pommes de terre ou aux navets, on sème du trèfle dans de l'avoine; les racines de ces deux plantes s'entrecroisent dans le sol, et cependant, quand après la récolte on analyse séparément les cendres, on trouve que l'avoine a assimilé une quantité notable de silice, tandis qu'elle ne s'est chargée que d'une quantité de chaux insignifiante; le trèfle au contraire a pris une proportion notable de chaux et de potasse, et très peu de silice.

Les plantes choisissent donc scrupuleusement les matériaux des cendres; c'est au reste ce que nous avons dit déjà dans le chapitre précédent où nous avons insisté sur la rareté de la soude dans un grand nombre de plantes terrestres.

Pour pénétrer le mécanisme de cette assimilation élective, nous étudierons d'abord à quel état se trouvent les matières minérales contenues dans les végétaux.

§ 46. — De l'état des substances minérales dans les végétaux.

Les substances minérales contractent avec les principes végétaux des combinaisons régulières, irrégulières ou semblent déposées dans les tissus par simple évaporation de l'eau qui y a circulé.

Potasse. — Elle se rencontre souvent dans les plantes, combinée avec les acides végétaux : on la trouve dans les *Rumex Acetosa* unie à l'acide oxalique; dans les raisins, à l'acide tartrique; dans les pommes de terre, combinée sans doute avec l'acide citrique; dans les betteraves, unie à l'acide oxalique et à l'acide malique. Ces

combinaisons sont souvent assez abondantes dans les végétaux pour donner lieu à une exploitation fructueuse : l'oxalate de potasse, le tartrate, sont extraits des végétaux.

La potasse se rencontre encore dans les plantes unies à l'acide phosphorique, le phosphate de potasse est particulièrement abondant dans les grains; en outre, plusieurs plantes renferment des quantités notables d'azotate de potasse. MM. Berthelot et André ont insisté sur leur répartition dans plusieurs plantes à diverses époques de la végétation (1); M. Capus les a décrits en place dans plusieurs espèces (2); j'ai moi-même appelé récemment l'attention sur les dangers, que font courir aux animaux de la ferme, le salpêtre abondant dans les betteraves fourragères (3).

Pendant la calcination la plus grande partie de la potasse passe à l'état de carbonate et c'est à cet état qu'on la tire des cendres des végétaux.

Chaux. — La chaux se rencontre dans les plantes comme la potasse en combinaison avec les acides organiques, les cristaux d'oxalate de chaux sont faciles à constater. Payen, plus récemment M. Vesque, en ont fait une étude attentive. M. Vehmer pour les observer facilement, rend les feuilles transparentes par l'action prolongée du chloral en dissolution; si la décoloration est incomplète, il maintient les organes dans une dissolution alcoolique d'acide sulfureux, il lave à l'alcool pour éliminer complètement l'acide sulfureux, puis emploie de nouveau le chloral; la transparence est alors suffisante pour qu'au microscope, il soit aisé de voir en place les cristaux d'oxalate (4).

La chaux se trouve également dans les plantes à l'état de carbonate, et il suffit de placer des fragments de feuilles entre les deux lames de verre du microscope, puis d'y faire pénétrer quelques gouttes d'acide chlorhydrique pour voir le carbonate de chaux se dissoudre, et le gaz enfermé dans les méats presser et entourer les cellules; cette expérience s'exécute facilement sur les feuilles du noyer ou des pommes de terre.

Silice. — La silice ne se rencontre plus dans les plantes engagées dans des combinaisons nettement définies comme la potasse ou la chaux, elle s'y trouve à deux états différents : tantôt elle sem-

(1) *Comptes rendus*, t. XCIX, 550 et 591.
(2) *Ann. agron.*, t. XII, p. 24.
(3) *Ann. agron.* t. XVI, p. 544.
(4) *Ann. agron.*, t. XV, p. 420.

ble engagée dans une combinaison assez fixe pour résister à l'action des réactifs faibles; tantôt, au contraire, ceux-ci la dissolvent parfaitement.

On a d'abord étudié l'état de la silice dans des tiges de diverses natures. Elles ont été soumises à l'action d'une dissolution de soude ou de potasse étendue marquant 1 degré au pèse-sel et bouillante; on avait soin de renouveler l'eau à mesure qu'elle s'évaporait; on terminait l'opération par un lavage à l'acide chlorhydrique étendu pour enlever l'alcali, et enfin par des lavages à l'eau pure jusqu'à disparition de la réaction acide. On a ainsi trouvé les résultats suivants :

Silice contenue dans différentes tiges avant et après les lavages avec une dissolution de potasse étendue et bouillante.

Noms des plantes en expériences.	Silice dans 100 de cendres de la plante normale.	Silice dans 100 de cendres de la plante lavée.
Seigle en fleur (mai 1865).....	38.2	68.00
Blé vert non encore en fleur (mai 1865).....	40.0	87.00
Paille de froment (août).....	70.0	93.00
Bois de chêne.....	21.0	0.0
Bagasse de canne à sucre.....	67.6	25.92
Id.	67.6	53.42

On voit que les tiges des céréales ont abandonné à la lessive et à l'acide chlorhydrique étendus, employés dans les lavages, presque toutes les matières minérales autres que la silice, mais que celle-ci au contraire a persisté jusqu'à former presque la totalité des cendres.

On voit en même temps que le bois de chêne a au contraire perdu toute la silice qu'il renfermait, et que la bagasse de canne à sucre a perdu une quantité notable de cette silice, qui a disparu plus rapidement que les autres éléments. Comme les expériences ont été tout à fait comparatives, qu'elles ont duré le même temps et qu'on a employé les mêmes dissolutions, on peut conclure que la silice se trouve dans les pailles des céréales, dans le bois et dans la canne à sucre, à des états très différents. Est-on autorisé à admettre que la silice est combinée avec la cellulose dans un des cas, ou au moins retenue par *affinité capillaire*, tandis qu'elle ne l'est pas dans l'autre? ou bien peut-on croire que cette silice qui affecte, comme chacun sait, de nombreux états isomériques, est dans la paille d'une nature différente de celle qu'elle affecte dans le bois

ou dans la bagasse? Nous admettons la première hypothèse, car cette silice se dissout très facilement dans la potasse ou dans la soude en dissolution un peu plus concentrée; si l'on attaque la paille avec une lessive marquant 4 à 5 degrés, il ne reste bientôt plus de cendres dans la fibre désagrégée qui résiste à cette action.

Toutefois il est vraisemblable que l'évaporation, dans les feuilles, de l'eau chargée d'acide carbonique, favorise le dépôt de la silice, qui est ensuite retenue par la cellulose des céréales plus énergiquement que par les tissus des autres végétaux.

En examinant, en effet, la quantité de silice contenue dans les cendres des feuilles et dans celles des tiges, et notamment des entre-nœuds, Isidore Pierre nous a fourni les éléments d'une comparaison des plus intéressantes : la quantité de silice va en augmentant assez régulièrement des feuilles supérieures aux inférieures; les plus anciennes sont les plus chargées de silice. Ainsi on trouve que, sur 100 de cendres, les premières feuilles, à partir du sommet, renferment 68 p. 100 de silice; les deuxièmes, 60; les troisièmes, 63; les quatrièmes, 67; les cinquièmes, 75, quantités, comme on le voit, considérables et qui s'accroissent régulièrement, à une exception près. Or, les entre-nœuds, les tiges, ne renferment qu'une proportion de silice moindre : car les premiers entre-nœuds donnent, sur 100 de cendres, 50 de silice; les seconds, 27; les troisièmes, 20; les quatrièmes, 20. Ces résultats s'accorderaient bien avec l'idée que si une partie de la silice est combinée avec la matière végétale, l'autre a été d'abord simplement déposée par évaporation; les tiges, en effet, ne paraissent pas avoir une puissance évaporatoire comparable à celles des feuilles, et dès lors la silice qui s'y accumule à mesure qu'elles avancent en âge n'y atteint jamais une quantité aussi grande que dans les feuilles.

On rencontre dans les feuilles des proportions de silice très variables : tandis que cet acide est très abondant dans les fougères, il n'existe qu'en proportion plus faible dans les feuilles d'autres plantes, bien qu'il s'y accumule à mesure qu'elles vieillissent (page 156). Il importait donc de soumettre ces organes aux essais analytiques qui nous avaient donné des résultats importants sur les tiges des céréales, et nous avons encore maintenu à l'ébullition dans la lessive de soude caustique à 1 degré, des feuilles de diverses provenances, en observant les précautions signalées plus haut.

On a obtenu ainsi les résultats suivants :

Détermination des quantités de cendres et des quantités de silice que renferment 100 grammes de feuilles normales séchées à l'air, et 100 grammes des mêmes feuilles lavées avec de la soude caustique étendue et bouillante.

ESPÈCES auxquelles appartiennent les feuilles incinérées.	CENDRES		SILICE		SILICE dans 100 de cendres	
	dans les feuilles normales.	dans les feuilles lavées.	dans les feuilles normales.	dans les feuilles lavées.	de feuilles normales.	de feuilles lavées.
Chêne	6.40	1.00	0.80	0.00	12.5	0.0
Lilas	5.00	1.00	0.50	0.03	10.0	3.0
Sapin (*Abies Picea*)	2.44	2.24	0.26	0.13	11.6	5.8
Marronnier	7.40	0.80.	1.40	0.30	18.9	37.5
Fougère (*Pteris aquilina*).	12.70	2.60	4.10	1.93	32.3	74.2
Fougère	12.70	2.70	4.10	1.80	32.3	66.6

La silice paraît donc être dans les feuilles à deux états différents : tandis que celle qui existe dans le chêne cède facilement à l'action de la soude caustique, celle au contraire qu'on trouve dans le marronnier, et surtout dans la fougère commune, résiste beaucoup mieux, et pendant que les autres éléments sont en partie enlevés par la lessive alcaline, la silice persiste et se trouve en définitive plus abondante dans 100 parties de cendres des feuilles lavées que dans 100 de cendres des feuilles normales.

Phosphates. — Tous les chimistes qui ont dosé à la fois l'azote et les phosphates dans les plantes, ont été frappés de voir ces deux matières augmenter à peu près parallèlement. Le lecteur qui voudra se reporter au tableau de la page 160 reconnaîtra que les graines, qui sont la partie de l'organisme végétal la plus riche en matières azotées, laissent des cendres composées presque exclusivement de phosphates. Aussi dans son *Économie rurale*, Boussingault s'exprime-t-il ainsi : « On aperçoit une certaine relation entre la proportion d'azote et celle de l'acide phosphorique contenus dans les substances alimentaires : généralement, les plus azotées sont aussi les plus riches en acide ; ce qui semble indiquer que dans les produits de l'organisation végétale, les phosphates appartiennent particulièrement aux principes azotés et qu'ils les suivent jusque dans l'organisme des animaux. »

M. Mayer arrive aux mêmes conclusions dans un mémoire important, publié en extrait dans les *Ann. de chimie et de phys.*, 3e série, 1857, t. LVI, p. 185.

Corenwinder, enfin, énonce encore la même opinion dans son mémoire *Sur les migrations du phosphore dans les végétaux* (1). « Depuis longtemps, dit-il, on a constaté que les bougeons naissants et les jeunes végétaux sont riches en matières azotées. Celles-ci sont toujours accompagnées d'une proportion relativement considérable de phosphore, et il n'est pas douteux que ces deux éléments sont unis dans le tissu végétal suivant un mode de combinaison encore mystérieux. »

La démonstration de cette combinaison sera faite, si l'on reconnaît que l'acide phosphorique, au contact des matières albuminoïdes, ne présente plus ses réactions habituelles. Si nous faisons voir, par exemple, que l'acide phosphorique reste en dissolution, en présence de la chaux *dans une liqueur neutre*, nous comprendrons que la matière organique doit intervenir ; si, en lavant des farines, nous entraînons, en même temps que de l'acide phosphorique, de la chaux, et que ces deux éléments restent en présence dans une liqueur limpide sans se précipiter, nous croirons à cette intervention de la matière organique, qui sera encore évidente, quand nous montrerons que l'acide phosphorique combiné avec des bases qui forment avec lui des sels solubles, résiste cependant à l'action de lavages multipliés.

Or, si l'on râpe des tubercules de pommes de terre, puis qu'on passe le jus au travers d'un linge, et enfin qu'on filtre, il sera aisé de constater dans le liquide la présence de la chaux et de l'acide phosphorique, qui restent en dissolution tant que la matière albuminoïde est soluble ; mais si l'on coagule celle-ci par la chaleur, une grande partie du phosphate de chaux se précipite, et si on lave la matière albuminoïde jusqu'à ce qu'elle ne cède plus rien à l'eau, puis qu'on la calcine, on trouve des cendres à peu près exclusivement composées de phosphate de chaux.

Ainsi ce sel est resté en dissolution tant que la matière albuminoïde a été maintenue liquide ; mais il se précipite au contraire avec celle-ci, et devient en partie insoluble aussitôt que la coagulation a lieu, en participant toujours à l'état de la matière azotée et l'accompagnant sous les différentes formes qu'elle revêt.

On ne s'est pas au reste borné à ces expériences qualitatives ; nous rapporterons ici différents essais qui montrent encore que les phosphates contenus dans les farines ne présentent pas les réactions

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 1860, t. LX, p. 105 et *Ann. des sciences nat.*, 4e série, t. XIV, p. 39.

qu'ils possèdent lorsqu'ils ne sont plus en présence des matières organiques.

Pour reconnaître si les phosphates sont, dans les graines, unis aux matières végétales, on a déterminé d'abord la quantité de chaux et d'acide phosphorique contenue dans 100 grammes de diverses farines; on voulait ainsi savoir non seulement quelle était la proportion d'acide phosphorique renfermée dans les graines, mais encore déterminer la proportion de cet acide phosphorique qui, uni à la chaux, aurait dû être insoluble dans l'eau, s'il avait présenté ses propriétés habituelles. On sait, en effet, que le phosphate de magnésie, qui existe dans toutes les graines, est loin d'être insoluble dans l'eau pure; et comme les 100 grammes de graines employés étaient traités au moins par un litre d'eau qui devait dissoudre seulement de $0^{gr},5$ à 2 grammes de phosphate, on pouvait compter que le phosphate de chaux seul serait insoluble. Il s'est trouvé, au reste, que cette prévision était inexacte, car dans l'eau de lavage de graines qui ne renfermaient d'autre acide que l'acide phosphorique, on a trouvé plusieurs fois des quantités assez notables de chaux. On déterminait généralement l'acide phosphorique entraîné par l'eau de lavage en le précipitant à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. On pouvait, ou bien calciner la matière organique entraînée, ou bien former le phosphate ammoniaco-magnésien dans le liquide renfermant une petite quantité de matière organique, car on a reconnu, dans les deux expériences suivantes, qu'en dosant : dans les cendres des résidus d'évaporation ou dans l'eau de lavage elle-même, on obtenait des résultats semblables.

On a en effet divisé en deux parties égales, l'eau de lavage de la farine de froment; on a évaporé l'une des moitiés du liquide à sec, on a brûlé le résidu et dosé $0^{gr},055$ d'acide phosphorique; on a, d'autre part, dosé ce même acide dans la liqueur non évaporée, on a obtenu $0^{gr},058$, c'est-à-dire à peu près la même quantité. En divisant en deux parties égales, l'eau de lavage de farine de pois, on a trouvé 0,028 dans les cendres de l'eau de lavage normale, et 0,023 dans les cendres de l'eau de lavage évaporée et privée de matière organique par la calcination.

Pour s'assurer encore plus complètement de l'exactitude de la méthode employée dans ces expériences, on a dosé comparativement l'acide phosphorique dans les cendres d'un poids déterminé de farine normale, puis dans l'eau de lavage et dans le résidu lavé d'une quantité de farine égale à la première. Une expérience faite

dans ces conditions a conduit aux résultats suivants : on a trouvé dans 100 grammes de farine de froment $0^{gr},800$ d'acide phosphorique; l'eau de lavage d'une quantité de farine semblable avait entraîné 0,566 d'acide et il en restait $0^{gr},215$ dans le résidu. $0^{gr},215 + 0^{gr},566 = 0^{gr},781$ au lieu de $0^{gr},800$; la perte est donc assez faible pour qu'on puisse considérer ces expériences comme exactes.

Dans 100 grammes de farine de haricots, on trouve $0^{gr},870$ d'acide phosphorique et 0,300 de chaux; dans l'eau de lavage provenant de 100 grammes de cette même graine, on a dosé $0^{gr},474$ d'acide phosphorique et $0^{gr},151$ de chaux.

Dans une dissolution minérale, l'acide phosphorique ne peut rester en présence de la chaux sans se précipiter, quand la liqueur est neutre; nous savons en revanche, qu'il n'en est plus ainsi quand on introduit dans le liquide divers acides organiques et la précipitation de l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, en présence de l'oxyde de fer ou de la chaux, dans une liqueur renfermant de l'acide citrique, montre que les propriétés de l'acide phosphorique sont profondément modifiées quand il se trouve dans un liquide chargé de matières organiques; il semble que ce soit une modification de cet ordre qu'il éprouve dans les plantes en présence des matières albuminoïdes, le point important à constater est cet état de combinaison, car nous en déduirons l'explication de son absorption élective.

Iodures. — Les expériences précédentes sont délicates, il n'en est plus de même de celle que nous avons exécutée depuis bien des années, sur les iodures; très facile à répéter, elle est aujourd'hui devenue classique. On brûle dans une capsule de platine quelques fragments d'un fucus, on traite les cendres par l'eau, on filtre, on ajoute à la dissolution un peu d'acide azotique étendu jusqu'à réaction faiblement acide, puis quelques gouttes de chloroforme, et on agite.

Le chloroforme tombe au fond du tube fortement coloré en rose, indiquant ainsi la réaction caractéristique de l'iode.

On prend d'autre part de nouveaux fragments de fucus, on les fait bouillir avec de l'eau, puis on traite l'eau de lavage par quelques gouttes d'acide azotique, on ajoute du chloroforme et on agite; le chloroforme reste incolore. Ainsi, bien que l'iodure de potassium soit tellement soluble dans l'eau, qu'il est déliquescent, il est si complètement retenu par les tissus du fucus, qu'il résiste à l'action de l'eau bouillante.

Sulfates et chlorures. — En étudiant l'état des sulfates et des chlorures dans les végétaux marins, nous pourrons constater également que les principes minéraux sont liés aux fibres végétales par simple affinité capillaire. Quand on compare les analyses de l'eau de mer, à celles des cendres d'un *Fucus* (voy. p. 145), un fait frappe d'abord : tandis que les deux tiers du résidu salin laissé par l'eau de mer sont formés de chlorure de sodium, les cendres des *Fucus* n'en renferment qu'un quart de leur poids au plus, et parfois seulement un sixième; le sulfate de magnésie est bien moins abondant dans l'eau de mer que le chlorure de sodium, et cependant les sulfates sont en quantités considérables dans les cendres des *Fucus*.

Il est facile de montrer que toutes ces matières ne se trouvent pas au même état dans toutes les plantes marines. Si, en effet, on prend quelques-unes de celles-ci et qu'on les coupe, puis qu'on les fasse bouillir dans de l'eau, de façon à enlever les sels solubles, on est parfois très frappé de voir que l'eau enlève des chlorures et presque pas de sulfates. L'expérience a été exécutée sur le *Fucus vesiculosus :* on a trouvé, dans un essai portant d'abord sur $0^{gr},944$ de cendres provenant de la plante lavée, une si faible quantité de chlore, qu'il a été impossible de faire le dosage; dans un autre essai, $6^{gr},332$ de plante sèche ont donné 0,980 de cendres, dans lesquelles on n'a dosé que $0^{gr},007$ de chlore, tandis qu'elles contenaient une proportion notable d'acide sulfurique.

Dans un essai qui a porté sur le *Fucus serratus*, on a trouvé que 100 parties de plante lavée à l'eau bouillante et séchée donnaient $8^{gr},19$ de cendres. Le *Fucus serratus* normal donnait, pour 100 de cendres, 22,222 d'acide sulfurique et 6,040 de chlore; tandis qu'après le lavage on trouvait 34,5 d'acide sulfurique pour 100 de cendres, et que les chlorures y étaient devenus complètement indosables. Nous ne saurions trop insister sur ce fait qui nous paraît capital : l'eau enlève au *Fucus vesiculosus* presque tous les chlorures en laissant les sulfates; l'eau enlève de même au *Fucus serratus* tous ses chlorures, et ne laisse que des sulfates. Il est donc certain que les chlorures et les sulfates n'existent pas dans ces plantes au même état, et que les uns y sont en combinaison, tandis que les autres, au contraire, semblent y être encore dissous dans l'eau qui gorge la plante.

Toutes les fucacées ne donnent pas des résultats semblables; dans toutes,l es sulfates ne sont pas retenus par la matière organique plus énergiquement que les chlorures. On verra, au contraire, d'a-

près les chiffres suivants, que le *Halidrys siliquosa* perd au lavage une plus grande quantité de sulfate que de chlorure.

On a trouvé dans la plante normale séchée à l'air : 10,650 de cendres, et seulement 5,585 dans la plante lavée ; celle-ci avait donc perdu plus de cendres que de matières végétales. Au reste, l'acide sulfurique y avait été enlevé en quantité aussi considérable que le chlore ; 100 de cendres de la plante normale renfermaient, en effet, 24,252 d'acide sulfurique et 1,190 de chlore, et 100 de cendres de la plante lavée renfermaient 20,115 d'acide sulfurique et 0,900 de chlore.

Ces résultats si différents donnés par ces deux fucacées sont inscrits dans le tableau suivant :

NOMS DES PLANTES expérimentées.	SUR L'ÉTAT DU CHLORE ET DE L'ACIDE SULFURIQUE DANS LES PLANTES MARINES.			
	NORMALES.		LAVÉES.	
	Chlore dans 100 de cendres.	Acide sulfurique dans 100 de cendres.	Chlore dans 100 de cendres.	Acide sulfurique dans 100 de cendres.
Fucus serratus.....	6.040	22.222	indosable.	34.500
Halidrys siliquosa..	1.190	24.252	0.900	20.115

Si nous résumons maintenant les faits établis dans les pages précédentes, nous reconnaissons que les substances minérales existent dans les végétaux à des états très différents :

1° Elles peuvent y être simplement déposées par évaporation : tel paraît être le carbonate de chaux dans les feuilles ; il disparaît, en effet, par un simple lavage à l'acide chlorhydrique ; tel il paraît être aussi dans les arbres, où il cède encore sans difficulté aux acides. La silice, dans les feuilles d'un grand nombre d'arbres, se dissout encore dans les alcalis étendus.

2° Elles peuvent être retenues en combinaison :

A. Avec des principes immédiats à réactions parfaitement tranchées. Des cristaux d'oxalate de chaux sont visibles dans nombre d'espèces. Chacun sait qu'on extrait de l'oxalate de potasse des oseilles, le tartrate de potasse et de chaux des raisins, le citrate de potasse des citrons. Nous avons extrait nous-même l'acide citrique des pommes de terre, où il était vraisemblablement combiné avec la potasse, de même que l'acide oxalique dans les betteraves.

B. Mais les substances minérales peuvent être aussi unies aux principes immédiats neutres, les phosphates aux matières albuminoïdes, la silice à la cellulose des tiges de graminées ou de fougères, les sulfates et les iodures aux tissus des fucacées. Ces dernières combinaisons n'ont plus le caractère nettement défini des précédentes; l'adhérence des principes minéraux aux tissus végétaux est variable; tantôt capable de résister à l'action des réactifs énergiques, elle peut parfois céder à des lavages multipliés, ainsi que nous l'avons remarqué pour les sulfates et les chlorures dans quelques plantes marines. Des exemples de ces combinaisons encore mal définies, dans lesquelles les éléments peuvent être retenus, non plus par la force énergique qui est mise en jeu par le contact d'une base ou d'un acide, mais par cette force affaiblie et dégénérée, jusqu'à devenir, suivant l'expression de Chevreul, une simple *affinité capillaire*, nous sont fournis à profusion par l'art de la teinture. Nous savons que les mordants adhèrent aux tissus et résistent aux lavages; nous savons que les matières colorantes se fixent également sur ces tissus mordancés, et ces alliances durables après le mordançage, éphémères, au contraire, quand la matière colorante est mise directement en contact avec la fibre végétale, nous paraissent avoir de profondes analogies avec les unions plus ou moins stables que contractent les substances minérales avec les tissus appartenant aux plantes encore vivantes.

§ 47. — Examen des anciennes hypothèses proposées pour expliquer la composition des cendres.

Examen des organes d'absorption. — L'hypothèse la plus simple qu'on puisse faire pour expliquer le choix qu'exécutent les végétaux consiste à supposer que les tissus des racines ne présentent pas la même structure dans les espèces différentes; que les organes d'absorption du blé sont aptes à se laisser pénétrer par la silice ou les phosphates, tandis que ceux du trèfle, qui refusent la silice, absorberont au contraire la potasse et la chaux. Il suffit presque d'énoncer cette hypothèse pour voir combien elle est singulière et peu d'accord avec ce qu'enseigne la science actuelle, ennemie des causes occultes. La répugnance qu'inspire cette hypothèse est, au reste, justifiée par l'examen des organes d'absorption : en soumettant à un examen microscopique attentif les racines de ces deux espèces, il est impossible d'y découvrir les moindres différences, bien que la

composition des cendres des plantes auxquelles ils appartiennent montre qu'ils ont absorbé des principes très différents. Au reste, pour démontrer qu'il n'existe pas dans les racines, une faculté de sélection suffisante pour produire les effets constatés par l'analyse des cendres, on peut avoir recours, comme l'a fait depuis longtemps Trinchinetti, à des expériences directes (1).

Les racines absorbent tous les éléments solubles qui sont mis en contact avec elles. — Ce naturaliste a reconnu, en plongeant pendant quelque temps des plantes munies de leurs racines en bon état dans des dissolutions salines variées, que toutes les matières dissoutes pénètrent dans les tissus.

J'ai donné du fait observé par Trinchinetti une nouvelle démonstration en faisant vivre des haricots en voie de germination, n'ayant pas encore vidé leurs cotylédons, dans des dissolutions de sel marin, et en caractérisant la soude dans leurs cendres, à l'état de chloroplatinate (2).

Or, on sait que le haricot ne prend jamais une trace de sodium dans les conditions normales, mais on voit qu'on ne saurait attribuer l'exclusion des combinaisons de ce métal à une structure particulière de la racine, puisqu'on réussit à les faire pénétrer en les présentant seules, au moment où le végétal, en voie d'accroissement, assimile avec une grande énergie les matières minérales.

Excrétion des racines. — Nous reconnaissons donc, d'une part, que tous les sels pénètrent dans les plantes; de l'autre, que ces principes ne sont pas tous simplement en dissolution dans l'eau qui gorge la plante, mais que quelques-uns d'entre eux sont combinés avec les divers principes immédiats. Si nous pouvions reconnaître dans les plantes la faculté d'excrétion, nous arriverions facilement à comprendre le mécanisme suivant lequel se fait le choix constaté par l'analyse. Supposons, en effet, qu'une dissolution complexe, comme celle qui existe dans le sol, pénètre dans la plante et se répande dans tout l'organisme, elle arrive au contact de différents tissus; quelques-unes des substances minérales introduites perdent leur solubilité, et les autres, après un séjour plus ou moins long dans le végétal, sont expulsées au dehors par les racines : de telle sorte que, bien que tous les éléments solubles contenus dans le sol aient pénétré dans la plante, l'analyse n'y décèlerait plus que ceux qui sont capables de contracter quelque combinaison.

(1) *Sulla facolta assorbente delle radice de vegetabili*, Milano, 1863.
(2) *Ann. agron.*, t. IV, p. 321.

Cette manière de voir reposant sur une excrétion régulière de matières minérales par les racines n'est pas nouvelle; elle a été soutenue par plusieurs esprits distingués, et notamment par De Candolle qui avait cru pouvoir baser une théorie des assolements sur cette propriété hypothétique; or, toutes les expériences disposées pour démontrer l'excrétion de quelques-uns des éléments des cendres par les racines ont échoué.

On sait que Walter, notamment, a contribué à faire rejeter l'idée de l'existence d'une exosmose régulière, en faisant pénétrer une plante munie de plusieurs racines dans deux vases différents, de sorte que quelques-unes des racines plongeant dans l'un des vases renfermant de l'eau distillée, les autres s'étalaient dans une dissolution saline.

Si les racines sont des organes de sécrétion, si elles peuvent rejeter quelques-uns des principes qu'elles ont pris d'abord, il est probable que la dissolution saline absorbée par l'une des racines se répandra dans toute la plante, puis sera rejetée au dehors, et qu'on retrouvera dans l'eau pure le sel contenu dans l'autre vase.

Les expériences furent faites à l'aide du sel marin, du sulfate de soude et de l'acétate de plomb, et conduisirent toujours à des résultats négatifs; dans le dernier cas, il fut facile de reconnaître le sel de plomb dans la plante et même dans les racines plongées dans l'eau pure, mais on ne put en retrouver dans cette eau.

Nous avons nous-même exécuté quelques expériences analogues. Des plantes aquatiques, des lentilles d'eau (*Lemna minor*) furent placées dans des dissolutions très étendues de sulfate de cuivre ou de sel ammoniac; on y laissa les plantes quatre ou cinq jours; puis, après les avoir bien lavées, on les remit dans l'eau distillée, qui fut examinée après quelques jours. Il fut impossible d'y découvrir la moindre trace du sel de cuivre ou de chlorure, et l'on sait cependant qu'il existe, pour reconnaître ces substances, des réactifs d'une admirable sensibilité.

Avant d'abandonner ce sujet des excrétions des matières minérales par les racines envisagées au point de vue particulier où nous nous plaçons, c'est-à-dire pour essayer d'expliquer l'assimilation élective des principes minéraux, il convient de discuter les faits relatifs aux pertes de matières minérales constatées dans les végétaux herbacés pendant la maturation.

Quand, ainsi que l'a fait Isidore Pierre pour le colza (1) et pour

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e sér., t. LX, p. 129.

le blé (1), on détermine non seulement la composition centésimale de la plante, mais de plus le poids que présente la récolte développée sur une surface donnée, on constate souvent une perte de matière minérale sensible.

Dans ses études sur le colza, l'éminent chimiste a trouvé, en effet, les chiffres suivants :

	Quantités de cendres (colza)	
	pour 100 de matière sèche.	à l'hectare.
22 mars 1879.....	10.7	400k6
2 avril —	10.4	447.3
6 mai —	11.0	941.2
6 juin —	9.7	880.9
20 juin —	7.2	664.0

On conçoit très bien que la proportion centésimale des cendres ait baissé par suite d'un développement de la matière végétale, plus rapide que ne l'est l'assimilation des matières minérales, mais on reconnaît à l'inspection des chiffres de la seconde colonne que cette cause n'est pas la seule qui ait déterminé la diminution centésimale des cendres et qu'elle est due également à une véritable perte de matière minérale. En effet, le 6 mai, la récolte d'un hectare contient 941k,2 de matières minérales et seulement 664k le 20 juin, au moment de la récolte; en 45 jours, 277k,2 de matières minérales ont disparu.

Nous n'hésitons pas à attribuer cette perte, non pas à une excrétion des racines, mais à la chute des organes desséchés; en effet, Isidore Pierre a distingué la matière minérale contenue dans les diverses parties de la plante; or, tandis que, le 6 mai, les feuilles vertes d'un hectare renfermaient 183k,63 de cendres et les feuilles mortes 254k,84, le 6 juin les feuilles vertes n'en contenaient plus que 18k,69 et les feuilles mortes 266k56; enfin, au moment de la récolte, toutes les feuilles ont disparu entraînant avec elles la matière minérale qu'elles renfermaient.

On peut encore mieux se rendre compte des causes qui amènent la disparition des matières minérales dans l'exemple suivant emprunté au mémoire sur la maturation de quelques plantes herbacées auquel nous avons déjà fait plus haut quelques emprunts (2).

(1) *Recherches expérimentales sur le développement du blé*, Delagrave, 1866, in-4°.
(2) *Ann. agron.*, t. VII, p. 170.

	Colinsia bicolor.	
	Cendres dans 100 parties de matière sèche.	Cendres dans la plante entière moins la racine.
11 juin	21gr,2	0gr,023
20 —	15 ,1	0 ,052
30 —	11 ,8	0 ,173
12 juillet	11 ,1	0 ,109
22 —	12 ,2	0 ,104
29 —	10 ,5	0 ,090
25 août	11 ,1	0 ,050

Le 30 juin la plante entière renferme 0gr,173 de cendres et seulement 0gr,109 le 12 juillet, si les matières minérales avaient disparu par excrétions par les racines, nous devrions trouver que la proportion centésimale des cendres a diminué. Or, elle est restée sensiblement constante, ce qui n'arriverait pas si les matières minérales avaient quitté la tige; dans ce cas, en effet, la proportion centésimale des cendres aurait été en diminuant, puisqu'on aurait brûlé des organes dépouillés des matières minérales qu'ils renfermaient d'abord.

Ainsi l'explication de l'accumulation dans les plantes d'un principe minéral à l'exclusion d'un autre ne peut s'appuyer sur l'idée que les principes non combinés, non retenus dans la plante, sont éliminés par les racines, et une autre manière de voir doit être proposée.

§ 48. — Des phénomènes de diffusion.

Pour arriver à la solution, il nous faut maintenant abandonner l'étude directe des plantes et rappeler les faits découverts par Dutrochet et Th. Graham, relatifs à l'endosmose et à la diffusion. Cette marche, qui paraît détournée, est celle cependant qui nous conduira le plus rapidement au but que nous nous proposons d'atteindre.

Rappelons d'abord une des expériences fondamentales de Th. Graham. On sait que ce savant a démontré que si, au fond d'une éprouvette étroite remplie d'eau, on dépose une dissolution concentrée d'un sel soluble, celui-ci finit par se répandre dans toute la masse : les molécules salines, triomphant de la force de pesanteur, qui semblait devoir les maintenir près du fond du vase, s'élèvent jusqu'en haut de l'éprouvette; elles sont animées d'un mouvement de transport tout à fait indépendant du mouvement du liquide lui-même, et tendent à se répandre dans tout le liquide, comme un gaz se répand dans tout l'espace qui s'offre à lui.

Une paroi poreuse n'oppose qu'une très faible résistance à cette diffusion; je m'en suis assuré par l'expérience suivante : dans un vase de verre renfermant une dissolution saline, on immerge un cylindre poreux semblable à ceux qu'on emploie dans la pile de Bunsen. Ce vase renferme de l'eau distillée, et le niveau du liquide est le même des deux côtés de la paroi; il n'y a, par conséquent, aucun transport de liquide, et cependant l'analyse démontre que le sel se diffuse au travers de la paroi poreuse, et après quelques jours, si l'on emploie des dissolutions étendues, on trouve que des quantités d'eau égales, prises dans le vase poreux ou en dehors, renferment des quantités de sels semblables : l'équilibre est établi.

La présence d'un sel dans l'eau du vase poreux s'oppose à la diffusion du même sel, mais n'apporte qu'un très faible obstacle à la diffusion d'un sel d'une autre nature. Supposons, pour préciser les idées, que nous ayons placé une dissolution de chlorure de potassium dans le vase de verre et dans le vase poreux; cette dissolution présente, des deux côtés de la paroi poreuse, la même concentration, et, par suite, il ne se fait aucun mouvement de sel d'un vase vers l'autre. On ajoute alors dans le vase extérieur une certaine quantité de sulfate de soude solide : celui-ci se dissout, et bientôt chemine au travers de la paroi poreuse et pénètre dans le vase intérieur.

Plaçons maintenant dans le vase extérieur un mélange de deux sels, et, par un moyen quelconque, amenons l'un des deux à l'état insoluble aussitôt qu'il aura pénétré dans le vase poreux, nous prévoyons facilement ce qui arrivera : les deux sels se diffusent d'abord dans l'eau du vase poreux en quantités égales; après quelques jours, l'eau intérieure se trouve avoir une concentration semblable à l'eau extérieure, et les choses persistent dans cet état si aucune cause perturbatrice n'intervient. Mais nous supposons, au contraire, que l'un des deux sels est amené à l'état insoluble, l'eau intérieure est débarrassée de ce sel, et dès lors la diffusion en entraîne dans le vase poreux une nouvelle proportion pour remplacer celle qui a disparu; une nouvelle précipitation sera bientôt suivie d'un nouvel afflux destiné à rétablir l'équilibre toujours détruit. L'un des deux sels appelé par ces précipitations successives entrera donc dans le vase poreux à différentes reprises, et l'expérience terminée, on l'y trouvera en plus forte proportion que le sel non précipité, qui a cessé de pénétrer dans l'eau intérieure aussitôt qu'elle a été chargée au même degré que l'eau extérieure.

Cette accumulation d'un sel dans le vase intérieur se réalise, par exemple, très aisément avec du sulfate de cuivre, auquel on ajoute peu à peu, à mesure qu'il se diffuse dans l'eau du vase poreux, du lait de baryte. Dans une expérience où le vase extérieur renfermait au commencement $0^{gr},990$ de sulfate de cuivre, on a trouvé à la fin, dans le vase extérieur, $0^{gr},293$, et dans le vase intérieur $0^{gr},697$ à l'état de sulfate de baryte et d'oxyde de cuivre précipité. Dans un autre essai, l'eau du vase extérieur renfermait d'abord $1^{gr},182$ de sulfate de cuivre, et à la fin $0^{gr},464$, tandis qu'il y avait dans le vase intérieur $0^{gr},718$ de sulfate de cuivre.

§ 49. — Explication de l'accumulation des principes formant dans les végétaux des combinaisons insolubles.

Cette expérience va nous permettre d'expliquer facilement l'accumulation des principes minéraux qui sont fixés en combinaison par les matières végétales. Nous avons vu que, dans le *fucus serratus*, les sulfates sont retenus à l'état insoluble, tandis que les chlorures sont facilement enlevés par l'eau. Or, nous pouvons comparer la mince pellicule qui recouvre les tissus de la plante à la paroi poreuse de notre vase de porcelaine dégourdie, et admettre qu'il y aura diffusion des sels contenus dans l'eau au travers de cette paroi, comme il y avait diffusion des sels de la dissolution extérieure dans l'eau du vase poreux. Les tissus du fucus vont dès lors exercer leur action sur ses sels; les sulfates se combinent; solidifiés par cette union, ils sont soustraits à la dissolution, comme l'était le sel précipité dans l'expérience précédente, et, par suite, une nouvelle quantité de sulfate pénétrera par diffusion dans l'eau qui gorge le tissu, tandis que le chlorure non combiné, se trouvant au même degré de concentration dans l'eau de la mer et dans le liquide de la plante, n'y pénétrera pas de nouveau. On comprend donc que, bien qu'il y ait dans l'eau de la mer plus de chlorures que de sulfates, les sulfates puissent s'accumuler dans le fucus en plus grande quantité que les chlorures.

Ce même raisonnement peut encore s'appliquer aux iodures, qu'on trouve toujours engagés dans des combinaisons insolubles avec les tissus des fucacées, tellement que, pour les caractériser dans ces plantes, il faut d'abord les brûler ou les désorganiser par l'action oxydante de l'acide azotique.

Assimilation de la silice combinée. — L'accumulation des prin-

cipes minéraux combinés dans les plantes terrestres peut être expliquée par un mécanisme analogue. Supposons qu'un grain de froment germe. L'amidon, d'abord liquéfié par la diastase, métamorphosé en dextrine ou en glycose, éprouve enfin une dernière transformation, et donne naissance à de la cellulose ; celle-ci possède une certaine affinité pour la silice, est capable de la rendre insoluble, et nous avons vu qu'une dissolution de soude étendue et bouillante est impuissante à détruire la combinaison formée. Si donc une dissolution complexe, appelée par l'évaporation qui se produit dans la jeune feuille, pénètre par endosmose dans les tissus, la silice qu'elle renferme va être solidifiée. Que cette combinaison se forme au moment même où la cellulose s'organise, ou bien que la silice se fixe sur la cellulose déjà formée, comme une teinture adhère peu à peu à une fibre végétale déjà filée ou tissée, peu importe : le point qu'il faut mettre en lumière, est que la sève est appauvrie de silice, et que, dès lors, un nouvel afflux de la silice contenue dans l'eau qui baigne les racines va pénétrer dans la plante pour remplacer celle qui est devenue insoluble, de la même façon que dans l'expérience citée plus haut, la matière précipitée était bientôt remplacée par une nouvelle quantité fournie par le liquide extérieur. Aussitôt donc que l'équilibre est rompu, que l'eau qui gorge la plante ne renferme plus la même quantité de silice que l'eau extérieure, une nouvelle quantité doit pénétrer pour remplacer celle qui a été précipitée.

Certainement, en même temps que la silice sont entrées dans la jeune plante, avec l'eau qu'appelle l'évaporation, les diverses matières solubles contenues dans la terre arable, mais si celles-ci ne forment aucune combinaison, elles restent en dissolution dans la sève, et opposent, par leur présence, un obstacle invincible à l'arrivée de nouvelles quantités.

Ce dernier point est important et nous y insistons. Nous pensons que le lecteur est convaincu qu'une matière qui devient insoluble dans la plante, par suite de la combinaison qu'elle y contracte avec un tissu ou un principe immédiat, doit s'y accumuler, et l'expérience faite avec le sulfate de cuivre et la baryte est, à ce point de vue, démonstrative. Nous avons en outre établi, par l'expérience, qu'aussitôt qu'un sel dissout, se trouve au même degré de concentration dans un vase poreux et dans une dissolution extérieure, tout mouvement de diffusion s'arrête, mais nous n'avons pas encore indiqué d'expérience démontrant que si l'eau intérieure

qui tient le sel en dissolution s'évapore peu à peu, de telle sorte que cette dissolution intérieure se concentre, l'eau extérieure se diffusera et pénétrera seule dans le vase poreux pour remplacer celle qui a disparu, en laissant au dehors le sel qu'elle tenait en dissolution.

Dans les expériences précédentes, nous avons vu le sel se déplacer sans que l'eau l'accompagnât dans son mouvement; maintenant nous devons assister encore à une séparation entre le corps dissous et le dissolvant, mais le dissolvant seul se déplacera, abandonnant le corps dissous.

Expériences de Th. de Saussure. — La preuve de cette séparation nous est donnée par Th. de Saussure dans ses expériences classiques sur l'absorption des diverses dissolutions par les plantes (*Recherches chimiques sur la végétation*, p. 247). On sait que l'illustre physiologiste plaça des pieds de *Polygonum Persicaria* où de *Bidens cannabina*, bien pourvus de leurs racines, dans des dissolutions, et qu'il les y a maintenus jusqu'au moment où ils avaient fait disparaître par évaporation la moitié de l'eau dans laquelle ils végétaient. Th. de Saussure analysa l'eau restant dans les vases; quand l'expérience fut terminée, il constata que « les plantes avaient absorbé toutes les substances qui leur avait été présentées, mais qu'elles avaient sucé l'eau en beaucoup plus grande raison que les corps qui étaient dissous ». Cette expérience nous donne donc la démonstration dont nous avions besoin ; elle nous prouve que lorsqu'un sel se trouve dans les liquides qui gorgent la plante en quantité égale à celle qui existe dans la dissolution extérieure, il cesse de pénétrer dans la plante, sans que cependant le mouvement de l'eau soit interrompu.

Il est bien clair que, plus les sels qui se trouvent dans l'eau y sont en dissolution concentrée, plus aussi la quantité qui pénètre dans la plante est grande : aussi rencontre-t-on dans les plantes tropicales des quantités parfois considérables de salpêtre ; les betteraves venues sur des terres très salées se chargent également de sel; et enfin, lorsque les eaux que renferme le sol se concentrent par évaporation, les plantes cessent de pouvoir y vivre.

Les très nombreuses expériences exécutées sur la végétation soutenue par des solutions nourricières ont, au reste, montré d'une façon complète l'indépendance absolue de la matière dissoute et du dissolvant.

Si dans l'expérience de Th. de Saussure les plantes ont pris plus

d'eau que de sel dissous, c'est tout simplement parce que la dissolution présentait une concentration assez forte et que les sels employés étaient mal utilisés ; mais MM. Knop et Dworzak (1) ont montré que des maïs et des haricots élevés dans des dissolutions à 5 p. 1000 absorbaient relativement plus de sel que d'eau.

Dans les expériences que nous avons exécutées sur des haricots encore munis de leurs cotylédons (2), nous avons pu les voir également absorber plus de chlorure que d'eau, et on conçoit d'après cela qu'avec des tâtonnements prolongés, on puisse réussir à trouver pour une plante déterminée une solution qui soit absorbée sans changement de composition.

Diffusion des matières solubles au travers des colloïdes. — Dans les pages précédentes nous étendons à une plante fixée dans la terre par ses racines les résultats obtenus avec des dissolutions ; l'assimilation est-elle possible ? Peut-on admettre que la diffusion aura lieu au travers de la terre arable et au travers des tissus de la plante, comme au travers de l'eau et d'un vase poreux ? Pour être convaincu que cette assimilation est légitime, on n'a qu'à rappeler un des faits constatés par Th. Graham dans ses mémorables recherches sur la diffusion. On sait qu'il a été conduit à diviser, par rapport à cette propriété, tous les corps en deux grandes classes : les matières colloïdales, telles que la gomme, la gélatine, etc., et les matières cristalloïdes, qui, ainsi que leur nom l'indique, sont susceptibles de prendre des formes cristallines. Les cristalloïdes se diffusent, non seulement très bien dans l'eau, c'est-à-dire qu'ils s'y déplacent, comme nous l'avons dit déjà, en dehors de tout mouvement du liquide, mais encore ils se diffusent également bien dans les colloïdes. Ainsi, qu'on place, à l'imitation de Th. Graham, dans une éprouvette étroite, une gelée d'amidon, puis qu'on dépose au fond du vase une dissolution colorée, et l'on verra cette dissolution monter dans l'amidon et le colorer peu à peu ; dans toute autre matière gélatineuse, la dissolution eût cheminé de même, et l'on est en droit d'affirmer que la plupart des sels se diffusent encore avec la même facilité dans un sol argileux.

Il est un point, cependant, sur lequel il importe d'insister : les colloïdes en dissolution ne diffusent pas au travers des masses colloïdales comme au travers de l'eau. Ainsi, s'il est possible de faire cheminer du chromate de potasse au travers de la gelée d'amidon,

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 592.
(2) *Ann. agron.*, t. IV, p. 321.

on ne réussirait pas à y diffuser de la gomme, et l'on pourrait se demander si la silice, facile à obtenir en gelée, n'est pas un colloïde, et, par suite, si la terre argileuse, colloïdale elle-même, n'opposera pas un obstacle absolu à sa diffusion. Cette objection serait sérieuse pour une dissolution concentrée de silice; mais on voit, dans les expériences de dialyse de Th. Graham (*Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, 1862, t. LXV, p. 169), que l'acide silicique soluble et très dilué a toujours traversé la membrane colloïdale, et cette expérience suffit à expliquer comment les dissolutions extrêmement étendues, répandues dans la terre arable, peuvent y circuler.

Une objection plus spécieuse peut être faite à la théorie que nous proposons. Nous attribuons l'accumulation de la silice, dans les graminées, à la combinaison que cette silice contracte avec les principes qui forment le squelette de la plante : cellulose ou vasculose, et l'on peut se demander pourquoi tous les végétaux ne renferment pas de la silice, puisque tous renferment de la cellulose et de la vasculose. Pour que cette objection fût fondée, il faudrait admettre que le squelette de toutes les plantes est formé par la même variété de ces principes; mais cette opinion n'est plus soutenable, aujourd'hui que M. Frémy a constaté que les tissus des végétaux sont constitués par des matières isomériques, mais non identiques, et très diversement attaquées par le réactif de Schweizer, obtenu en dissolvant le cuivre dans l'ammoniaque et que nous-même, avons reconnu que la vasculose de la paille est bien loin d'être identique à celle du bois.

Il nous paraît donc probable que si les graminées se chargent de silice, tandis que les légumineuses n'en prennent pas, cette différence est due à l'existence, dans les premières, d'une cellulose ou d'une vasculose capable de se combiner avec la silice, tandis que les principes des légumineuses, par exemple isomères, mais non identiques aux précédents, ne peuvent contracter une union semblable.

§ 50. — Assimilation dans les végétaux des phosphates et des bases.

Si les bases se rencontraient toujours dans les végétaux à l'état insoluble, comme la chaux quand elle est unie aux acides oxalique ou carbonique, leur accumulation serait produite par des causes semblables à celles qui déterminent l'assimilation de la silice par les graminées; mais il n'en est pas ainsi, et l'on rencontre souvent dans

les tissus, en quantités notables, des matières minérales dissoutes : le tartrate de potasse dans les raisins, le citrate et l'oxalate de potasse dans les pommes de terre, l'oxalate de potasse encore dans les betteraves et dans les oseilles, sont en dissolution dans les liquides qui gorgent les cellules ; il en est de même des phosphates, qui, dans les feuilles ou dans les tubercules, restent solubles, et ne se précipitent que lorsque l'albumine qu'ils accompagnent se coagule.

Pour comprendre le mécanisme de l'assimilation des matières minérales qui sont en combinaison dans les végétaux, mais qui y forment des combinaisons solubles, nous allons recourir, encore une fois, aux expériences exécutées à l'aide de vases inertes.

Supposons qu'on place de l'eau distillée dans un vase poreux de la pile de Bunsen, et qu'on immerge celui-ci dans une dissolution complexe, formée, par exemple, de bicarbonate de soude et de chlorure de potassium ; on reconnaîtra, après quelques jours, que les deux sels sont entrés en quantités égales dans l'eau intérieure, ils se sont diffusés avec la même rapidité. Changeons maintenant le liquide contenu dans le vase poreux et plaçons à l'intérieur un acide, et voyons ce qui arrivera. L'expérience a porté sur un mélange de $3^{gr},111$ de bicarbonate de potasse et de $3^{gr},111$ de sel marin dissous dans les 150 centimètres cubes du vase extérieur ; intérieurement, on avait placé 50 centimètres cubes d'acide sulfurique très dilué. Après vingt-quatre heures, on a trouvé que la liqueur extérieure avait perdu $0^{gr},825$ de bicarbonate de potasse et seulement $0^{gr},210$ de sel marin ; on a reconnu que la diffusion avait eu lieu du vase extérieur vers l'acide intérieur, car la liqueur extérieure ne renfermait que des traces d'acide sulfurique.

On peut conclure de ces essais que la présence dans le vase poreux d'une substance capable de se combiner avec l'un des sels contenus dans le vase extérieur, détermine là diffusion plus abondante de celui-ci. Cette cause pertubatrice modifie donc profondément les lois de la diffusion ; tous les éléments solubles n'entrent plus avec la même vitesse : l'un s'accumule rapidement dans le vase poreux, tandis que l'autre, sollicité seulement par la force de diffusion, n'y pénètre qu'avec une certaine lenteur ; et quand l'on met fin à l'expérience, on reconnait que le vase poreux renfermant un acide *a fait un choix* dans les substances qu'il avait à sa disposition, et qu'il a pris, celle avec laquelle l'acide pouvait se combiner en plus grande quantité que celle avec laquelle, au contraire, cet acide était incapable de s'unir.

Revenons maintenant aux plantes, et considérons une pomme de terre dont les tubercules sont enfouis dans une terre meuble suffisamment humide et renfermant, par exemple, du carbonate de potasse et du sel marin. Par suite probablement d'un phénomène d'oxydation des hydrates de carbone (voyez plus loin chapitre VIII), des acides, tels que l'acide citrique ou l'acide oxalique, apparaissent; ils s'unissent au carbonate de potasse qui a pénétré par diffusion dans les cellules de la pomme de terre, comme l'acide sulfurique s'unirait au carbonate de potasse qui est entré dans le vase poreux. Aussitôt, au reste, que la combinaison est faite, l'eau qui gorge les tissus du tubercule est moins riche en carbonate de potasse que l'eau du sol, et une nouvelle quantité doit pénétrer par diffusion pour remplacer celle qui a contracté une combinaison avec les acides formés.

On expliquerait par des considérations analogues, l'assimilation des phosphates qui se rencontrent à l'état soluble dans les jeunes feuilles, dans les tubercules, et qui s'y trouvent en combinaison, ainsi que nous l'avons vu plus haut, § 46. On se rappelle qu'on trouve, en effet, dans du jus de pomme de terre par exemple, avant que l'albumine ait été coagulée par l'ébullition, une proportion sensible de chaux et d'acide phosphorique, qui ne pourraient rester en dissolution dans une liqueur neutre, s'ils n'y étaient maintenus par une combinaison; et c'est précisément à l'existence de celle-ci que nous attribuons la pénétration des phosphates qu'on rencontre toujours associés aux matières azotées et qui sont peut-être nécessaires à leur formation.

§ 51. — Accumulation dans les feuilles de substances solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure.

Il existe dans les végétaux un certain nombre de matières minérales, susceptibles de se dissoudre dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais insolubles dans l'eau pure; ce sont précisément ces matières qui finissent par former entièrement les cendres contenues dans les feuilles, et il était important de reconnaître ce qui arriverait lorsqu'on soumettrait à l'évaporation spontanée des dissolutions d'une de ces matières et d'un sel soluble dans l'eau pure. On se servit comme appareil d'évaporation d'une bande de gaze ou d'une mèche de coton, dans lesquelles le liquide monte rapidement par capillarité, ainsi qu'il est facile de le constater en mouillant la bande de gaze et en la plaçant dans une dissolution colorée.

L'expérience fut arrêtée après quelques jours, et l'on dosa les sels restant dans les deux dissolutions. On connaissait le titre primitif, on put ainsi déterminer quelles étaient les quantités de sels qui s'étaient fixées sur les bandelettes; on reconnut qu'une dissolution de sel marin avait perdu 27 p. 100 du sel primitif, tandis que 62 p. 100 du carbonate de chaux dissout à la faveur de l'acide carbonique avaient disparu. La raison de cette différence nous paraît analogue à celle que nous avons donnée plus haut : pour que l'équilibre d'une dissolution soit établi, il faut que le sel obéissant à la force de diffusion existe en quantité semblable dans tous les points du liquide; si cet équilibre est rompu pour une cause quelconque, si le sel disparaît en un point, une nouvelle quantité de sel se dirige vers le point où s'est manifesté la cause perturbatrice. Or, le carbonate de chaux ne se dissout dans l'eau qu'à la faveur d'un excès d'acide carbonique, et cette dissolution est très instable : exposée à l'évaporation, l'acide carbonique en excès se dégage et du carbonate de chaux se précipite; les stalactites si abondantes dans les grottes des pays calcaires, n'ont pas une autre origine. Le sel marin, au contraire, est très stable et ne se décompose nullement par l'évaporation. On conçoit donc que, dans les deux vases, il se produise des effets très différents. Dans l'un, l'eau chargée d'acide carbonique et de carbonate de chaux va s'élever dans les bandes de gaze, mais bientôt l'acide carbonique, abandonnant le carbonate de chaux, celui-ci devient insoluble et se précipite. Dès lors l'équilibre est rompu; de l'eau plus pauvre en carbonate de chaux que celle de la dissolution existe dans les bandes de gaze, et une nouvelle quantité de bicarbonate de chaux va être attirée pour combler le vide qu'a causé l'évaporation. Cette nouvelle quantité de carbonate de chaux se précipitera à son tour, et le même phénomène se reproduisant constamment, la liqueur s'appauvrira rapidement au profit des bandes de gaze qui se chargent d'une quantité croissante de carbonate de chaux.

Il n'en sera pas de même du sel marin : l'eau, en s'évaporant dans les bandes de gaze, va y laisser une dissolution plus concentrée que celle qui existe dans l'eau même, et cette concentration retardera l'arrivée d'une nouvelle quantité de sel; si la dissolution s'appauvrit, c'est seulement par suite du dépôt du sel sur l'appareil d'évaporation.

Si nous mélangeons dans le même verre des dissolutions de sel marin et de bicarbonate de chaux, et que nous y disposions des bandes de gaze comme il a été dit plus haut, nous obtiendrons

encore des résultats semblables à ceux de l'expérience précédente : sur 100 parties de bicarbonate de chaux contenues dans la dissolution, 22 disparaissent, tandis que la liqueur ne perd, dans le même temps, que 5 de sel marin.

Dans une troisième expérience, on a trouvé que la dissolution avait perdu par l'évaporation dans les bandelettes 14 p. 100 de bicarbonate de chaux qu'elles renfermaient et 7 p. 100 de sel marin. Des résultats analogues furent encore obtenus avec la silice et le sel marin placés dans un vase de verre garni de bandelettes de gaze: pendant que la liqueur ne perdait que 2,2 p. 100 du sel marin qu'elle renfermait, elle s'appauvrissait de 26 p. 100 de silice.

Enfin, le phosphate de chaux et le sel marin donnent encore des résultats semblables : tandis que la liqueur renfermait à la fin de l'expérience la même quantité de sel qu'au commencement, car on avait eu soin de tordre la mèche de coton servant d'organe d'évaporation pour en exprimer la dissolution concentrée qu'elle renfermait, on trouva que 11 p. 100 du phosphate de chaux avait disparu.

Nous avons donné la composition des feuilles de hêtre à diverses époques de sa croissance, et nous avons reconnu que dans les vieilles feuilles il n'existe guère que du carbonate de chaux et de la silice. Examinons d'abord, en nous appuyant sur les considérations précédentes, comment cette accumulation peut avoir lieu, nous reviendrons plus loin sur la disparition des phosphates et de la potasse, qui, abondants dans les cendres des jeunes feuilles, font défaut au contraire dans les cendres des feuilles plus âgées.

Le raisonnement que nous avons appliqué à la concentration dans les mèches de coton et dans les bandes de gaze des matières insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, s'appliquera également à leur accumulation dans les feuilles ou dans l'écorce. Qu'une dissolution de silice ou de bicarbonate de chaux pénètre en effet dans un végétal, elle tendra à se répandre uniformément dans toute sa masse ; elle arrivera aux feuilles, là, elle éprouvera une modification particulière. En effet, l'acide carbonique, qui tenait les sels en dissolution, sera évaporé ou décomposé, et par suite le carbonate ou la silice seront précipités; la liqueur qui gorge la feuille ou l'écorce sera donc appauvrie de ces sels solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais insolubles dans l'eau pure, et à mesure que la feuille aura plus longtemps fonctionné comme appareil d'évaporation, à mesure aussi, elle se sera enrichie de silice ou de carbonate de chaux.

Nous pouvons encore tirer des faits précédents l'explication d'une ancienne observation de Th. de Saussure : « Les cendres de l'écorce contiennent, dit-il, une beaucoup moins grande proportion de sels alcalins que les cendres du bois et de l'aubier. » — « Les cendres de l'écorce contiennent une énorme proportion de carbonate de chaux », ajoute-t-il plus loin. Et enfin, quand il s'agit d'interpréter ce fait, il écrit : « L'écorce ne se renouvelle que très lentement ; elle est exposée pendant toute l'année au lavage de la pluie et des rosées, elle doit, plus qu'aucune partie, être dépouillée de sels solubles. » Th. de Saussure reconnaît que cette explication est insuffisante ; mais nous n'aurons pas de peine à tirer des expériences précédentes la raison du fait qu'il énonce.

L'écorce, comme les feuilles, fonctionne comme un appareil d'évaporation ; c'est donc là que l'acide carbonique va se dégager et abandonner le carbonate de chaux qu'il tenait en dissolution : et comme c'est dans l'écorce que la sève s'appauvrit de carbonate de chaux, c'est vers ce point que le carbonate de chaux se dirigera pour venir rétablir un équilibre à chaque instant rompu. Il n'en sera pas de même des dissolutions alcalines ; elles ne se décomposent pas par l'évaporation, elles ne subissent dans l'écorce qu'une concentration encore accusée par la quantité d'alcalis que laisse cet organe à la calcination, mais qui ne forme qu'une faible fraction de la masse totale des cendres. A l'intérieur du bois, la sève est soustraite à toute cause d'évaporation, et elle doit renfermer surtout les principes solubles, dont la proportion centésimale se trouve singulièrement augmentée par suite du transport dans l'écorce des principes insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique.

On voit donc que l'explication de l'accumulation du carbonate de chaux dans l'écorce, du partage inégal des sels alcalins et des sels de chaux entre l'écorce et le bois, peut encore être tirée des expériences exécutées avec le bicarbonate de chaux et le sel marin dans les vases où plongeaient les bandelettes de gaze.

§ 53. — Sur l'accumulation dans les végétaux de quelques sels solubles.

Le travail que nous venons de résumer (1) laisse sans interprétation précise quelques cas particuliers, intéressants à discuter.

(1) *Ann. des sciences naturelles*, t. VII, p. 145, 1867. — Le mémoire couronné par l'Académie a été remis au secrétariat en juin 1865.

On trouve parfois dans les plantes des quantités notables de certains sels dont le mode d'assimilation est difficile à expliquer; les racines de betteraves renferment dans les terrains bien fumés des masses de salpêtre qui parfois gênent singulièrement la cristallisation du sucre. J'ai eu occasion d'analyser une betterave provenant d'un terrain très fumé du département du Nord, on y trouvait 5 p. 100 d'azote sur 100 de matière sèche; après dessiccation, elle fusait au feu avec décrépitation; nous verrons plus loin que le salpêtre contenu dans les betteraves fourragères détermine parfois de graves accidents. On trouve dans le maïs et le sorgho des quantités notables de nitrates et les accidents survenus à diverses reprises dans l'emploi comme fourrage de cette dernière plante sont dus sans doute à l'influence de ces nitrates. Enfin quelques végétaux sont connus par les proportions énormes de salpêtre qu'on y rencontre, tel est l'*Amarantus blitum*, qui, après dessiccation, détone quand on veut le calciner.

Dans une série de travaux récents, MM. Berthelot et André ont montré, ainsi que nous l'avons indiqué déjà, que toutes les plantes renferment des quantités de nitrates, parfois considérables; d'après leurs dosages, l'*Amarantus giganteus* calculé à 1000 pieds par are contiendrait dans la récolte obtenue d'un hectare : 320 kilogrammes de salpêtre.

MM. Berthelot et André ont reconnu que le sol qui avait porté ces amarantes s'était appauvri en azote combiné et en potasse, mais qu'au contraire la proportion de nitrates était restée sensiblement constante, ce résultat les a conduits à supposer que l'acide azotique est formé dans le végétal même, les cellules végétales agissant comme le proto-organisme du sol qui provoque la nitrification.

S'il n'en était pas ainsi, il resterait à rechercher le mécanisme de l'assimilation de quantités notables de ces sels solubles. Il reste également à comprendre comment certaines matières solubles sont absolument dédaignées par les végétaux sans qu'on puisse saisir la raison de la préférence qu'ils accordent à des corps doués de propriétés analogues : les travaux de M. Péligot ont montré notamment que la soude ne se rencontre dans presqu'aucun des végétaux cultivés.

L'emploi du nitrate de soude comme engrais ne peut être considéré comme une objection, car par suite des doubles échanges qui se font dans le sol, son acide azotique pénètre seulement dans les plantes sous forme de nitrate de potasse ou de chaux. J'ai donné,

il y a déjà quelques années, une preuve décisive de ces transformations. Des haricots d'Espagne furent semés dans un grand pot à fleur contenant de la bonne terre de jardin ; puis, quand ils furent bien développés, on les arrosa de dissolutions de sel marin de plus en plus concentrées jusqu'à les faire périr. La plante fut alors analysée ; on y trouva des quantités considérables de chlore, mais pas une trace de soude ; le haricot était mort d'une pléthore de chlorure de potassium.

Il est à remarquer cependant que si des végétaux enracinés dans le sol ne prennent pas de soude, même lorsqu'elle leur est offerte à profusion, il est possible cependant de faire pénétrer dans ces plantes de la soude en les enracinant dès le jeune âge dans l'eau, et les alimentant avec des dissolutions ne renfermant que des sels de soude, ou contenant ces sels en excès, sur les autres matières minérales; l'appétence de la jeune plante pour les matières dissoutes est assez vive pour qu'elle absorbe les sels de soude et même pour qu'elle les prenne dans une dissolution étendue en plus grande proportion que l'eau qui les tient en dissolution.

On conçoit, en effet, que trois cas puissent se présenter quand une plante est enracinée dans une dissolution. Ou bien la dissolution est concentrée, et alors, comme dans les expériences de Th. de Saussure, les plantes prennent plus d'eau que de matière dissoute et la dissolution s'enrichit ; ou bien la dissolution est plus étendue, et dissolvant et matière dissoute pénètrent simultanément, tellement que la concentration de la dissolution ne change pas ; ou bien encore la dissolution est très étendue : la matière dissoute est prise alors en plus grande quantité que l'eau et la dissolution s'appauvrit ; c'est le cas qu'on peut observer quand on place des haricots encore munis de leurs cotylédons dans une dissolution étendue d'un sel de soude ; mais il semble qu'il n'en soit plus ainsi pour une plante adulte et qu'aussitôt qu'elle peut choisir entre différents sels, elle prenne toujours les sels de potasse ou de chaux en repoussant absolument les sels de soude.

Dans l'état actuel de nos connaissances, on ne voit aucune hypothèse à émettre pour expliquer ce choix absolu, et la préférence de la plupart des végétaux pour les sels de potasse, leur répugnance pour les sels de soude, restent absolument inexpliquées.

Avec ce chapitre VI, se termine l'étude de la nutrition de la plante ; après avoir étudié l'assimilation du carbone, de l'azote des

matières minérales, il faut chercher à comprendre comment le végétal utilise ces éléments à la formation des principes immédiats ; cette délicate question est exposée dans un des chapitres suivants ; nous devons cependant, avant de l'aborder, montrer que la respiration est une fonction vitale aussi bien pour les végétaux que pour les animaux, cette étude nous conduira naturellement à celle de la formation des principes immédiats : la chaleur mise en jeu par les combustions internes étant probablement utilisée à la formation de ces principes.

CHAPITRE VII

RESPIRATION.

La respiration des organes végétaux se traduit par l'absorption d'oxygène et l'émission d'acide carbonique.

Elle sera étudiée dans les paragraphes suivants :

1° Démonstration expérimentale. Absorption d'oxygène et émission d'acide carbonique. — Absorption complète d'oxygène par les plantes végétant dans une atmosphère limitée.

2° L'oxygène est nécessaire à la vie des plantes.

3° Causes qui influent sur la quantité d'acide carbonique produite.

a. Élévation de la température.

b. État de santé de l'organe considéré.

c. Nature des organes.

d. Nature des espèces.

e. Composition de l'atmosphère.

4° Rapport $\frac{CO^2}{O}$ de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé.

Méthodes d'observations employées :

a. Méthode du vide. *b*. Méthode des deux prises. *c*. Méthode de compensation.

5° Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est variable avec les espèces et avec les températures. Il est souvent plus grand que l'unité.

6° Matières brûlées pendant la respiration.

7° Chaleur produite pendant la respiration. Liaison entre la respiration et la formation des principes immédiats.

8° Comparaison de la respiration à l'assimilation.

§ 54. — Démonstration expérimentale.

Émission d'acide carbonique. — Rien n'est plus simple que de montrer que tous les organes végétaux émettent de l'acide carbonique : on place des fleurs, des racines, des rameaux, des bourgeons, ou même des feuilles dans un flacon que traverse un courant d'air pur; à sa sortie de l'appareil, il est chargé d'acide carbonique. Pour opérer régulièrement, on dépouille le gaz de l'acide carbonique qu'il renferme normalement, à l'aide d'une dissolution de potasse caustique : en le dirigeant à sa sortie de la potasse, dans un tube à eau de baryte, on s'assure, en la voyant rester limpide, que le gaz qui pénètre dans l'appareil est absolument privé d'acide carbonique; au contraire, lorsqu'il a passé sur les organes végétaux, il trouble immédiatement l'eau de baryte. Tous les organes végétaux respirent en produisant de l'acide carbonique; cette fonction est étroitement liée à la vie, et il n'est pas une seule cellule vivante qui en soit privée.

Pour observer la production d'acide carbonique par un organe à chlorophylle éclairé, il est manifeste qu'il faut que la respiration soit assez active pour ne pas être masquée par l'assimilation, et si, comme dans l'expérience classique de Garreau, on opère au soleil, il faut que la respiration soit énergique, l'acide carbonique émis abondant, pour voir l'eau de baryte se troubler.

Corenwinder (1) a repris cette question à l'aide de l'appareil ci-joint, il a reconnu que l'expérience ne réussit au soleil que si on opère sur de très jeunes plantes; en opérant au mois d'août avec une branche de *laurocerasus* qui n'avait à cette époque que des feuilles adultes, le courant d'air qui traversait l'appareil, exposé au soleil mais protégé contre l'action des rayons directs, n'a pas troublé l'eau de baryte introduite dans la petite soucoupe de la cloche ou contenue dans l'éprouvette B. Si au contraire on opère avec des rameaux portant de très jeunes feuilles, on voit l'eau de baryte de la petite soucoupe se troubler même en plein soleil. La respiration dans les jeunes organes est assez active pour que les feuilles adultes n'aient pas le temps de saisir tout l'acide carbonique avant que sa présence n'ait été signalée par l'eau de baryte.

Absorption d'oxygène. — Les organes végétaux, en même temps

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 216.

qu'ils dégagent de l'acide carbonique, absorbent de l'oxygène quand ils sont plongés dans une atmosphère normale ; pour s'en convaincre, il faut placer un des organes végétaux précédents dans une cloche retournée sur le mercure avec un volume d'air grossièrement mesuré.

Si après quelques heures on procède à l'analyse, on reconnaît que le gaz est chargé d'acide carbonique, mais que l'oxygène a diminué dans une proportion notable ; il arrive même quelquefois

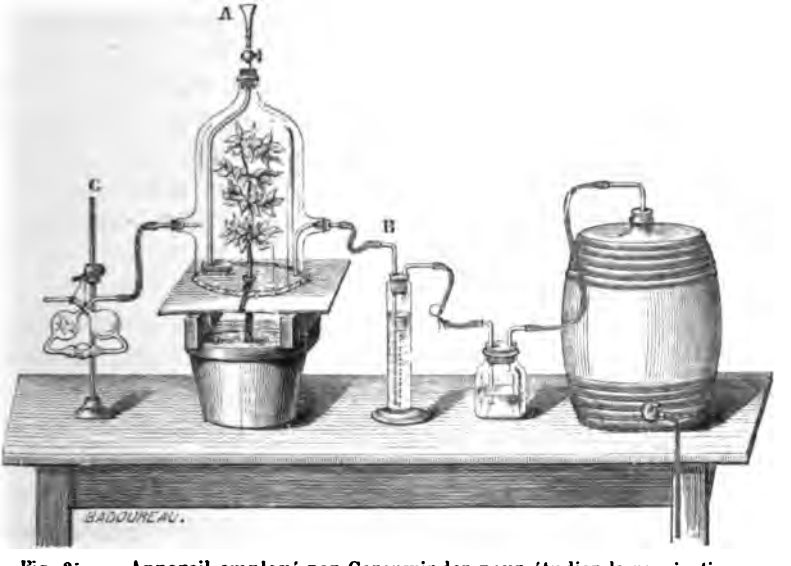


Fig. 35. — Appareil employé par Corenwinder pour étudier la respiration.

qu'on observe seulement une absorption d'oxygène non accompagnée d'un dégagement d'acide carbonique.

Absorption complète d'oxygène. — Si on laisse l'expérience précédente se prolonger, puis qu'on procède à l'analyse du gaz, on reconnaît que l'oxygène a complètement disparu ; après avoir absorbé l'acide carbonique par la potasse, on introduit dans le gaz de l'acide pyrogallique, mais le liquide au lieu de prendre la coloration brun foncé qui accompagne l'absorption de l'oxygène, reste violet très clair, et quand on mesure le gaz, on reconnaît que son volume n'a pas changé par l'addition de l'acide pyrogallique : les organes végétaux ont absorbé l'oxygène jusqu'à la dernière trace, comme l'aurait fait un bâton de phosphore.

Les plantes aquatiques maintenues dans l'obscurité absorbent

de même tout l'oxygène dissous dans l'eau ; c'est ce qu'il est facile d'observer en opérant comme suit : on introduit des plantes aquatiques telles que l'*Elodea canadensis*, le *Potamogeton crispus*, dans un ballon qu'on remplit d'eau complètement : on introduit alors à frottement doux dans le col du ballon une toile métallique, puis on adapte un bouchon de caoutchouc muni d'un tube recourbé également rempli d'eau ; l'appareil est alors exactement rempli de liquide ; on le place dans l'obscurité pendant vingt-quatre ou quarante-huit heures.

Quand ce temps est écoulé, on porte le liquide à l'ébullition pour recueillir les gaz dissous ; l'opération se fait sans danger, grâce à la toile métallique qui empêche les plantes de venir former contre le bouchon un tampon qui, obstruant le tube à dégagement, permettrait à la vapeur d'acquérir une tension suffisante pour faire éclater l'appareil. Quand on analyse les gaz recueillis, on reconnaît qu'ils sont exclusivement composés d'acide carbonique et d'azote ; tout l'oxygène a disparu.

Il m'a été donné d'observer cette absorption complète d'oxygène par les végétaux, sur une grande échelle, à l'étang de Grignon.

Le domaine de Grignon est situé sur les deux versants d'une vallée dont le fond était occupé par un étang de plusieurs hectares. Dans cette eau végétaient plusieurs plantes marécageuses complètement submergées, telles que le *Potamogeton pectinatus*, le *Ceratophyllum submersum*, etc. Au mois de juillet 1868, il s'y développa en outre une telle quantité de la petite plante désignée vulgairement sous le nom de lentilles d'eau (*lemna minor*), que toute la surface de l'étang en était absolument couverte ; la plante formait un réseau assez résistant pour que de petits oiseaux pussent s'y poser et sautiller à la surface de l'eau comme ils l'auraient fait sur une prairie. Bientôt une forte odeur se répandit autour de l'étang et l'on vit arriver à la surface une grande quantité de poissons morts. On retira de l'étang plusieurs centaines de kilogrammes de poissons de dimensions variées.

Il n'était pas possible d'attribuer à un empoisonnement par l'hydrogène sulfuré, dont l'odeur était sensible, la mort de ces animaux, car les oiseaux d'eau n'auraient pas échappé à son action toxique et l'étang restait garni de canards, de cygnes et de poules d'eau ; mais je pensai que la lentille d'eau avait formé à la surface de l'étang une couverture assez épaisse pour empêcher l'accès des rayons lumineux et que dès lors les plantes submergées, plongées dans

l'obscurité, avaient dû absorber l'oxygène dissous, le transformer en acide carbonique, que les poissons enfin privés d'oxygène avaient dû périr asphyxiés.

Pour m'en assurer je prélevai quelques échantillons de l'eau de l'étang en la puisant dans des bouteilles remplies d'azote, pour éviter que l'eau, en y pénétrant, ne se trouvât au contact d'une atmosphère oxygénée. Les gaz dissous furent extraits par l'ébullition, on ne trouva que de l'azote et de l'acide carbonique, il n'y avait pas trace d'oxygène.

Il s'est produit dans l'eau de l'étang de Grignon, maintenue à l'obscurité par la couche épaisse de lentilles d'eau, un remarquable exemple de concurrence vitale; les plantes submergées plongées dans l'obscurité ont absorbé l'oxygène comme les poissons eux-mêmes, bientôt l'oxygène a fait défaut et les poissons sont morts asphyxiés. Il est manifeste que le dépeuplement de l'étang est dû au développement de la lentille d'eau qui, maintenant les plantes aquatiques à l'obscurité, les a empêchées de décomposer l'acide carbonique et d'en dégager de l'oxygène, ainsi qu'elles le font lorsqu'elles sont éclairées; dans une semblable occurrence, il faut, pour éviter la mort du poisson, lier à des câbles, des plaques de liège pour qu'ils flottent à la surface, et puissent entraîner la lentille d'eau. Quand l'écran qui maintenait à l'obscurité les plantes submergées a disparu, elles dégagent plus d'oxygène qu'elles n'en absorbent et l'eau est assez aérée pour que les poissons puissent y vivre.

§ 55. — L'oxygène est nécessaire a la vie de la plante.

Cette absorption complète d'oxygène par les organes végétaux, tellement active que ce gaz est épuisé jusqu'à la dernière trace, semble indiquer a priori que la respiration est la condition même de la vie végétale.

C'est ce qu'on démontre aisément par l'expérience; si on laisse dans l'obscurité pendant plusieurs jours des plantes aquatiques, elles absorbent complètement l'oxygène dissous, et celui qu'amène constamment dans le liquide l'atmosphère avec laquelle la surface reste en contact. Dans ces conditions, les plantes aquatiques meurent par asphyxie; si après ce séjour dans l'obscurité, on les place au soleil dans une eau légèrement chargée d'acide carbonique, on ne voit aucun dégagement d'oxygène se produire.

Cette asphyxie n'est pas à craindre pour les organes aériens des plantes de grande culture, elle l'est au contraire pour les racines ; dans un sol compact, humide, gorgé d'eau, l'oxygène est rare ; les plantes souffrent de cette rareté et meurent quand leurs racines sont maintenues dans une atmosphère dépouillée d'oxygène.

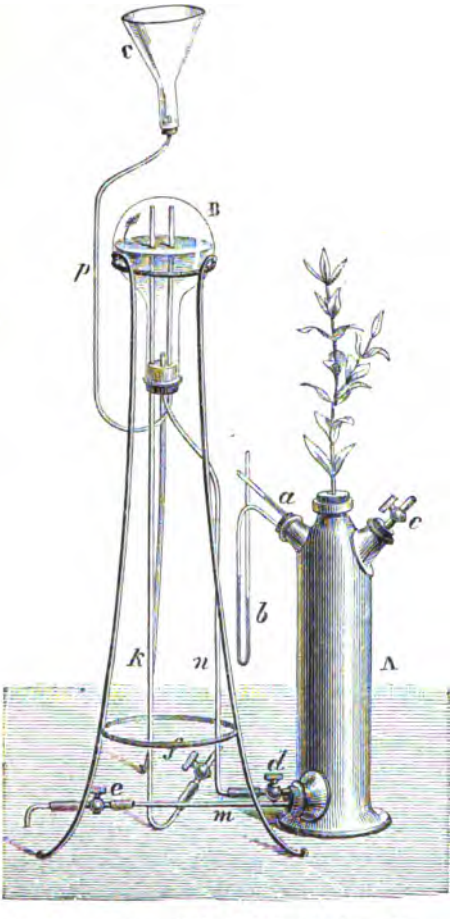


Fig. 36. — Appareil de MM. Dehérain et Vesque pour étudier la respiration des racines.

C'est ce que nous avons démontré, M. Vesque et moi, à l'aide de l'appareil représenté par la figure ci-jointe. La plante est enracinée dans le flacon A, renfermant un sol de pierre ponce, en ouvrant les robinets *d* et *c* on peut remplir l'appareil d'eau : on ferme alors le robinet *d*, on ajuste en *c* un caoutchouc mis en relation avec une cloche renfermant par exemple de l'azote, on ouvre les robinets *c* et *d* et en enfonçant la cloche dans la cuve, on refoule l'eau dans le ballon B, dont l'air puis l'eau excédante peut s'écouler par le tube *kf*.

En opérant sur une véronique, on reconnut que la plante ne peut pas vivre quand ses racines sont privées d'oxygène ; cette privation entraîne après quelques jours la chute des feuilles et la mort de la plante elle-même.

On ne saurait attacher aux faits précédents trop d'importance ; les terres fortes, non drainées, deviennent imperméables, l'oxygène n'y pénètre que très difficilement et pendant tout l'hiver, les plantes sont languissantes ; l'utilité du drainage est précisément de

provoquer, par l'écoulement de l'eau, la pénétration de l'air et d'assurer aux racines une ample provision d'oxygène.

§ 56. — CONDITIONS QUI INFLUENT SUR L'ACTIVITÉ DE LA RESPIRATION.

a. *Influence de l'élévation de température.* — L'élévation de la température détermine un accroissement notable dans l'énergie de la respiration ; tous les auteurs sont d'accord sur ce point.

Nous avons déjà comparé, à propos de l'assimilation du carbone, les courbes de l'assimilation et de la respiration d'après M. Kreusler (page 92), nous donnerons, en outre, les chiffres suivants, recueillis il y a quelques années (1) en laissant les feuilles dans une atmosphère confinée.

Espèce et organe en expérience.	Température.	Acide carbonique produit en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
Nicotiana tabacum (feuilles vertes)...	7°	0gr,031
— — ...	13	0 ,139
— — ...	14	0 ,157
— — ...	15	0 ,164
— — ...	18	0 ,178
— — ...	18	0 ,193
— — ...	20	0 ,263
— — ...	21	0 ,289
— — ...	32	0 ,514
— — ...	40	0 ,961
— — ...	41	1 ,132
— — ...	42	1 ,325
Pinus Pinaster (aiguilles).....	0	0 ,031
— —	8	0 ,058
— —	15	0 ,095
— —	30	0 ,703
— —	40	1 ,333

On voit que si on représentait la quantité d'acide carbonique formée par une courbe, on n'obtiendrait pas une ligne s'écartant régulièrement des abcisses sur lesquelles sont marquées les températures, mais qu'elle serait convexe vers cette ligne horizontale.

b. *Santé de l'organe en expérience.* — L'activité respiratoire est beaucoup moindre dans un organe malingre que dans un organe vigoureux ; on en jugera par les chiffres suivants, obtenus de feuilles jaunes de tabac, chez lesquelles l'absence d'aliments azotés avait diminué la production de la chlorophylle.

(1) Dehérain et Moissan, *Ann. des sc. natur.*, 5e série, *Botanique*, t. XIX, p. 320.

Nature de l'organe en expériences.	Température.	Acide carbonique formé en 10 heures par 100 gr. de feuilles.
Nicotiana tabacum (feuilles jaunes)...	13°	0gr,080
— — ...	13	0 ,062
— — ...	13	0 ,083
— — ...	14	0 ,071
— — ...	16	0 ,092
— — ...	17	0 ,118
— — ...	18	0 ,158
— — ...	19	0 ,130
— — ...	21	0 ,204
— — ...	41	0 ,667

Ces chiffres sont beaucoup plus faibles que ceux du tableau précédent.

c. *Nature des organes.* — Les nombres que nous venons de citer ont été obtenus à l'aide de feuilles maintenues à l'obscurité; si dans la même espèce, on examine plusieurs organes différents, on reconnaît que non seulement les nombres sont très variables d'un organe à l'autre, mais en outre que, pour le même organe, les quantités émises varient avec le développement auquel il est parvenu; c'est ce qu'a très bien montré M. Moissan (1).

« Pour le marronnier, le maximum de dégagement d'acide carbonique a lieu au moment de l'épanouissement des bourgeons, alors que les jeunes feuilles sont encore d'un vert tendre et qu'elles se développent avec une extrême rapidité.

100 grammes de rameaux de marronnier en dix heures donnent à 20°, au mois de décembre : 20 c.c. d'acide carbonique ; en août : à 17° : 22 c.c. Les bourgeons, dans les mêmes conditions de poids et de durée, donnent en avril à 15°, un peu avant leur épanouissement, 120 c.c., tandis que lorsqu'ils s'ouvrent dans l'éprouvette, ils exhalent environ 160 c.c. Les jeunes feuilles formées quelques jours après fournissent encore 155 c.c.

M. Moissan a étudié également la respiration des pétales, elle est beaucoup plus active que celle des feuilles.

Espèces auxquelles appartiennent les organes en expériences. — Pétales.	Température.	Acide carbonique produit en 10 heures par 100 gr. de pétales.
Tulipe.....	13°	74cc,1
—	22	99 ,5
Iris germanica.....	14	72 ,4
—	19	103 ,4
Lilium candidum.....	21	109 ,6
Rose trémière jaune.....	29	215 ,4
Rose rouge.....	29	237 ,5

(1) *Respiration des divers organes des végétaux* (*Ann. agron.*, t. II, p. 56).

Influence de l'espèce. — On voit par les nombres précédents que des organes de même nature appartenant à des espèces différentes ne donnent pas aux mêmes températures des quantités semblables d'acide carbonique; c'est ce qui apparaît encore plus nettement quand l'expérience porte sur des feuilles.

Espèces.	Température.	Acide carbonique produit en dix heures par 100 gr. de feuilles.
Sinapis alba (moutarde blanche).	14°	0gr,240
Ficus elastica.....	14	0 ,011
Rumex acetosa (oseille).....	14	0 ,150
Pinus pinaster.....	15	0 ,095
Sinapis alba.....	31	0 ,720
Pinus pinaster.....	30	0 ,703

§ 57. — Influence de la composition de l'atmosphère sur la production d'acide carbonique.

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que tous les organes des végétaux absorbaient de l'oxygène et émettaient de l'acide carbonique, il semble, au premier abord, que ces deux phénomènes soient liés étroitement l'un à l'autre, comme ils le sont dans la combustion du carbone qui se produirait dans un flacon; il est vraisemblable cependant, que l'acide carbonique dégagé ne provient que partiellement de la transformation de l'oxygène absorbé.

Les feuilles soustraites à l'action de l'oxygène continuent d'émettre de l'acide carbonique. — Si, en effet, on introduit des feuilles, dans de l'air ordinaire contenu dans une cloche retournée sur l'eau ou mieux sur le mercure, et qu'on les laisse dans l'obscurité pendant vingt-quatre heures, on trouve que non seulement tout l'oxygène a été absorbé, mais que la production d'acide carbonique n'est que médiocrement ralentie par l'absence d'oxygène, de telle sorte, qu'à la fin de l'expérience, on constate que la quantité d'acide carbonique émise est bien supérieure à celle de l'oxygène absorbé; le volume du gaz a considérablement augmenté.

On observe le même effet, si on place les feuilles dans de l'hydrogène ou de l'azote (1).

Dans les expériences que nous avons exécutées, M. Moissan et moi, nous avons vu 30 grammes d'aiguilles de *Pinus Pinaster* abandonnées : 26 h. 30' dans de l'azote pur, produire 15cc,04 d'acide car-

(1) J. Bœhm, *Ann. des sc. natur. bot.*, 5e série, t. CLXXXI.

bonique; quand l'expérience fut prolongée pendant 116 heures, la quantité d'acide carbonique produite fut de 33mm,45 (1).

M. Moissan (2) place 30 grammes de très jeunes feuilles de marronnier dans un tube parcouru par un courant d'air et maintenu à la température de 30° : en trois heures, les feuilles émettent 153 milligrammes d'acide carbonique; on remplace le courant d'air par un courant d'azote pur, les feuilles donnent, dans le même temps, 66 milligrammes d'acide carbonique. Il est manifeste que dans ces conditions les deux éléments de l'acide carbonique ont été fournis par la feuille elle-même.

On désigne sous le nom de respiration intracellulaire cette sorte de respiration qui se produit en l'absence d'oxygène. Elle a été soumise en Allemagne à de nombreuses études (3).

En comparant la respiration normale à la respiration intramoléculaire, M. Pfeffer trouve que le rapport est parfois égal à l'unité (pour la fève en germination), mais que très habituellement ce rapport est beaucoup plus petit que l'unité.

M. Pasteur a défini la fermentation « la vie sans air » et cette parole mémorable s'applique absolument à la respiration intracellulaire, quand, en effet, la cellule végétale est privée d'oxygène. elle continue à émettre de l'acide carbonique en décomposant les principes qu'elle renferme : elle agit comme ferment. Quant un organe végétal est maintenu dans l'hydrogène ou l'azote, en même temps qu'il dégage de l'acide carbonique, il produit de l'alcool, nous aurons occasion de revenir sur ce sujet au moment où nous parlerons de la maturation des fruits, mais nous devons signaler ici une expérience intéressante de M. Muntz, qui a placé pendant quelques heures, dans une atmosphère d'azote, des plantes en pleine végétation et a pu reconnaître qu'elles avaient élaboré de l'alcool (4).

La cellule vivante de la plante, à l'abri de l'oxygène, fonctionne à la manière de la levure de bière, elle décompose les hydrates de carbone, la glycose, en acide carbonique et en alcool.

Dans l'expérience de M. Muntz, la plante replacée au contact de l'air a continué à végéter régulièrement; elle n'a pas paru éprouver de trouble sérieux de la privation momentanée d'oxygène.

(1) *Ann. des sc. nat. bot.*, t. XIX, p. 321.
(2) *Ann. agron.*, t. V, p. 56.
(3) *Ann, agron.*, t. XI, p. 140 et 426.
(4) *Comptes Rendus*, t. LXXXVI, p. 49, 1878.

Les faits précédents démontrent que la production d'acide carbonique n'est pas étroitement liée à l'absorption d'oxygène et on conçoit par suite qu'il soit intéressant de déterminer rigoureusement dans quels rapports se trouvent l'oxygène absorbé et l'acide carbonique émis.

§ 58. — Détermination du rapport $\frac{CO^2}{O}$ de l'acide carbonique émis a l'oxygène absorbé.

Le mode de recherches se présente naturellement à l'esprit : introduire les organes dans une atmosphère limitée, puis chercher comment leur séjour a modifié la composition de cette atmosphère. Toutefois l'inégale solubilité dans les liquides de la feuille, des deux gaz : oxygène et acide carbonique, peut occasionner de graves erreurs ; on n'obtient de précision dans la détermination exacte du rapport de l'acide émis à l'oxygène absorbé qu'en tenant compte des gaz dissous dans les liquides des feuilles. Nous y avons réussi, M. Maquenne et moi, à l'aide de deux méthodes différentes : la méthode du vide et la méthode de compensation.

Méthode du vide. — Pour mettre cette méthode en pratique, on introduit les feuilles détachées de l'arbre dans un tube de $0^m,02$ de diamètre sur $0^m,06$ à $0^m,15$ de longueur qui est muni à l'une de ses extrémités d'un robinet de verre et rodé à l'autre ; on ferme celle-ci à l'aide d'une petite plaque de verre recouverte de cire Golaz (fig. 3). On lie ce tube à une trompe à mercure (fig. 4 et 5) et on fait un vide complet ; on laisse alors entrer dans l'appareil de l'air purifié par son passage au travers d'un long tube à potasse humide, on attend deux minutes que l'échauffement produit par la rentrée du gaz se soit dissipé, on ferme tous les robinets et on fait le vide à fond dans les espaces nuisibles de la trompe. On ouvre alors le robinet du tube qui contient les feuilles et on continue à faire le vide, en recueillant cette fois l'air qui s'échappe ; lorsqu'on est arrivé au vide complet, on ouvre de nouveau tous les robinets, on attend encore deux minutes, puis on referme. On sépare le tube à feuilles de la trompe, le tube contient à ce moment un volume d'air précisément égal à celui qu'on vient de recueillir, on porte le tube contenant les feuilles à l'obscurité où il séjourne jusqu'à la fin de l'expérience.

Pendant sa durée, on mesure le gaz recueilli, il est habituellement inutile de l'analyser. Quand on juge que le séjour des feuilles dans

l'atmosphère confinée a été suffisant pour déterminer une modification profonde, on lie de nouveau le tube à la trompe ; on fait le vide dans les espaces nuisibles puis on ouvre le robinet, on fait couler le mercure et on recueille le gaz entraîné par l'écoulement, on le mesure et on l'analyse.

Méthode des deux prises. — Au lieu de recueillir en une seule opération tout le gaz modifié par la respiration pour l'analyser, on réussit, en employant la méthode des deux prises, à montrer combien est grave l'erreur que l'on commet, quand, dans ces recherches, on ne tient pas compte de l'atmosphère confinée dans les feuilles.

L'expérience ayant été disposée comme il vient d'être dit, on fait le vide dans les espaces nuisibles de la trompe, puis on ouvre le robinet du tube à feuilles et on le referme aussitôt; le gaz qui se répand dans les espaces vides est celui qui constitue l'atmosphère extérieure aux feuilles, on le recueille; puis après que le vide est fait, on ouvre de nouveau le robinet et en actionnant la trompe on recueille, sous une seconde cloche, le gaz restant, qui comprend à la fois, la dernière partie de l'air confiné et les gaz des feuilles.

Le tableau suivant indique le rapport $\frac{CO^2}{O}$, dans la première, puis dans la seconde prise ; si les deux nombres étaient identiques, on en déduirait que l'atmosphère extérieure n'est pas influencée par la dissolution de l'acide carbonique dans les liquides des feuilles, si au contraire le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est toujours plus grand dans la seconde prise que dans la première, il faut en conclure que ce rapport est profondément modifié par la dissolution de l'acide carbonique dans les liquides des feuilles. Un simple coup d'œil suffit pour voir combien le rapport réel diffère du rapport apparent que donne la première prise.

Rapport $\frac{CO^2}{O}$, fusain du Japon à 35°.

	1re prise.	2e prise.	Rapport réel.
29 juillet 1885.....	0.81	1.42	1.16
23 —	1.01	1.37	1.19
21 —	1.10	1.34	1.23
25 —	1.19	1.26	1.22

On peut au reste trouver ce rapport réel $\frac{CO^2}{O}$ en employant la seconde méthode dite de compensation.

Méthode de compensation. — L'appareil employé est formé d'un manchon cylindrique de verre de 370 c.c. environ; à l'une de ses extrémités est soudé un tube capillaire qui vient en se recourbant s'appliquer le long des parois du cylindre. La longueur de ce tube dépasse de quelques centimètres celle du manchon et au moment des expériences, on le ferme à l'aide d'un simple caoutchouc serré par une pince, l'autre extrémité du manchon peut être fermée par un bouchon en verre soufflé, usé à l'émeri de façon à s'appliquer sur le cylindre et à permettre à l'aide d'un peu de cire Golaz une fermeture hermétique. Au bouchon est adapté un tube à robinet de verre.

Le principe des opérations est le suivant: rendre constante la quantité d'acide carbonique contenu dans l'appareil de façon que les gaz dissous dans les liquides des feuilles se trouvent en équilibre parfait avec les gaz extérieurs. On y parvient en prélevant, après un séjour plus ou moins prolongé des feuilles, qui est déterminé par la *densité de chargement*, c'est-à-dire par le rapport existant entre le volume de l'appareil et celui des feuilles, une certaine quantité du gaz modifié qu'on remplace par de l'air pur, la quantité d'acide carbonique cesse ainsi d'augmenter, sa tension qui détermine la quantité dissoute dans les liquides des feuilles reste constante et l'équilibre n'est plus troublé par la dissolution de l'un des gaz.

En employant simultanément ces deux méthodes, on est arrivé aux conclusions suivantes (1) :

Pendant la respiration, il ne se produit aucun dégagement, ni aucune absorption d'azote.

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est indépendant de la durée du séjour des feuilles à l'obscurité.

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est dans des limites très étendues indépendant de la pression partielle de l'oxygène ou de l'acide carbonique dans l'atmosphère ambiante.

En opérant dans l'air commun on a trouvé à 35° pour le fusain du Japon : 1,20, en moyenne et dans des atmosphères enrichies d'oxygène on a obtenu le même rapport :

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 145.

Date de l'expérience.	Proportion centésimale de l'oxygène au début.	Proportion centésimale de l'a. carbonique à la fin.	Rapport $\frac{CO^2}{O}$
29 juin 1885.....	43.1	10.4	1.19
5 juillet 1885.....	33.9	12.0	1.19
11 —	42.8	29.8	1.20
14 —	43.2	40.2	1.18

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ croît avec la température. Cette relation a été signalée pour la première fois par MM. Dehérain et Moissan, puis par M. Moissan, elle a été établie dans les expériences plus récentes de MM. Dehérain et Maquenne par les déterminations suivantes :

Fusain du Japon.		Pin silvestre.		Pin d'Autriche.	
35°	0°	35°	0°	35°	0°
1.20	1.07	1.05	0.92	1.06	0.88
Moyenne de 16 exp.	Moyenne de 7 exp.	3 exp.	3 exp.	5 exp.	4 exp.

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ dépasse fréquemment l'unité. Le tableau qui précède montre qu'à 35°, le rapport de l'acide carbonique produit à l'oxygène absorbé est plus grand que l'unité.

C'est là un fait considérable déjà observé par M. Godlewski pendant la germination, et qui éclaire un point très important de la physiologie végétale.

Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est souvent plus grand que l'unité. — Conséquences. — Nous avons vu plus haut que les parties vertes des végétaux frappées par les radiations solaires, dégagent un volume d'oxygène égal à celui que renferme l'acide carbonique décomposé. Au carbone, ainsi fixé dans la plante, l'addition de l'eau fournit les éléments nécessaires à la constitution des hydrates de carbone tels que la cellulose, l'amidon et les sucres; si pendant la respiration l'oxygène qui pénètre dans les tissus ressortait intégralement à l'état d'acide carbonique, que ce volume d'acide carbonique fût précisément égal à celui de l'oxygène, on n'aurait aucune lumière, sur ce fait, que la composition entière du végétal n'est nullement représentée par du carbone et de l'eau, mais qu'on y trouve toujours au contraire, plus d'hydrogène qu'il n'est nécessaire, pour constituer de l'eau avec l'oxygène dosé.

C'est ce qui a été observé autrefois par Boussingault, c'est ce

qu'a trouvé M. Schlœsing pour le tabac dans lequel il a dosé : 5,82 pour 100 d'hydrogène contre 36,85 pour 100 d'oxygène, or cette quantité d'oxygène correspond seulement à 4,606 d'hydrogène. C'est également ce qu'a constaté M. Maquenne qui, dans le lin arrivé à maturité, dose 5,73 d'hydrogène, tandis que les 38,78 d'oxygène trouvé, ne correspondent qu'à 4,84; et dans l'avoine où les 42,05 d'oxygène dosés dans 100 parties, exigeraient seulement 5,25 d'hydrogène, tandis que l'analyse en accuse 6,35.

Il est manifeste que de l'oxygène a disparu, et il est simple d'imaginer qu'il s'est dégagé sous forme d'acide carbonique; c'est ce que confirment les dosages précédents : puisqu'un volume d'acide carbonique renferme un volume égal d'oxygène, il est évident que lorsque le rapport $\frac{CO^2}{O} > 1$, la plante perd par la respiration une certaine quantité de l'oxygène qu'elle renfermait.

§ 59. — Chaleur produite par la respiration végétale.

Cette chaleur est facile à constater pendant la germination, car non seulement la production d'acide carbonique est notable, mais en outre, la graine ne renfermant qu'une faible quantité d'eau, la chaleur mise en jeu n'a pas, avant de devenir sensible, à échauffer un liquide d'une énorme capacité calorifique; un dégagement de chaleur sensible se manifeste cependant encore dans les organes gorgés d'eau comme les pétales, il est notable au moment de l'épanouissement des fleurs de certaines espèces. Avec des fleurs nombreuses condensées en inflorescences compactes et protégées contre le rayonnement par une spathe comme elles le sont chez les Aroïdées, on observe facilement des élévations de température de plusieurs degrés. Cette combustion très active, n'a lieu que dans l'air, si on plonge le spadice dans l'hydrogène il se refroidit rapidement; l'élévation de température est naturellement accompagnée d'un dégagement considérable d'acide carbonique. La combustion porte sur l'amidon, dès le début de la période d'échauffement, l'amidon se dissout du haut en bas et disparaît entièrement en vingt-quatre heures, tandis que les matières azotées ne paraissent subir aucune transformation (1).

Au lieu de se borner à des observations thermométriques, on a

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 413

employé avec avantage, pour constater les dégagements de chaleur dus à la respiration végétale, des calorimètres plus ou moins analogues à celui qu'a imaginé M. Berthelot pour ses études de thermochimie. Cette méthode a été employée par M. Rodewald (1).

§ 60. — Sur les matières végétales brulées pendant la respiration.

Quand on examine l'activité respiratoire des jeunes organes on la trouve considérable, plus forte que celles d'organes adultes placés dans des conditions analogues de température et comme dans les organes nouveaux, les matières azotées sont abondantes, que dans les jeunes feuilles de Lauro-cerasus, par exemple, Corenwinder a trouvé 32,467 pour 100 de matières azotées, tandis qu'il n'en a plus rencontré que 10,752 dans des feuilles adultes, il a été conduit à penser que la grande activité respiratoire des jeunes organes était liée à l'abondance des albuminoïdes, que c'était le protoplasma qui supportait la combustion et donnait naissance à la production abondante d'acide carbonique observée dans les jeunes feuilles. Cette opinion déjà émise par Garreau et d'autres observateurs mérite qu'on s'y arrête.

Il est clair que pendant la germination et sans doute à bien d'autres moments de la vie de la plante, les albuminoïdes sont brulés; ils donnent les produits amidés, et notamment l'asparagine, qui paraissent être les formes de voyage que revêtent les matières azotées quand elles se dialysent. Il est donc certain, que les matières azotées, le protoplasma s'oxydent, mais nous savons, en outre, que les hydrates de carbone qui apparaissent pendant la germination, la cellulose récemment formée, notamment, est bien loin de représenter le poids des réserves (amidon et huile) disparues; il est donc manifeste que dans la graine au moins, les hydrates de carbone sont brulés; à ce moment, ainsi que nous l'a appris M. Godlewski, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ de l'acide carbonique produit, à l'oxygène consommé est égal à l'unité; nous savons, enfin que les matières grasses disparaissent également et quand ce sont elles qui entrent en combustion, le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est plus petit que l'unité, de l'oxygène étant employé à la combustion de l'hydrogène.

(1) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 526.

Il n'y a pas de raison de supposer que pendant la respiration des organes adultes, les hydrates de carbone échappent à l'action oxydante de l'air (1); il est plus naturel de penser qu'ils s'oxydent comme le font les réserves pendant l'évolution des graines ; c'est au reste, ce qui découle d'une expérience célèbre de M. Borodin (2).

Le savant botaniste russe détermine la quantité d'acide carbonique émise par des rameaux feuillus, qu'il maintient à l'obscurité à une température constante pendant plusieurs jours, il remarque que cette quantité décroît rapidement. En opérant sur le *spiracea opulifolia*, il trouve qu'après douze heures, la quantité d'acide carbonique produite, n'est plus que la moitié de celle qui avait été émise au commencement de l'expérience pendant le même temps, et qu'après vingt-quatre heures, l'acide carbonique dégagé est réduit au tiers de la quantité primitive. L'auteur attribue cette diminution à l'épuisement des matériaux sur lesquels porte la respiration.

En plaçant, en effet, les rameaux épuisés par leur respiration à l'obscurité, dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique, et en les soumettant à l'action de radiations orangées efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique et par suite la production des hydrates de carbone, on rend au rameau la propriété d'émettre de nouveau, des quantités d'acide carbonique comparables à celles qu'il produisait au début des observations.

Cette expérience paraissait décisive : M. Roschawi, toutefois, ayant supposé que l'acide carbonique dégagé dans cette seconde expérience provenait tout simplement de celui qui avait été emmagasiné par les feuilles pendant leur séjour dans une atmosphère artificiellement enrichie, M. Borodin reprit ses expériences, en opérant de façon à se mettre à l'abri de ces objections et retrouva ses résultats précédents. Il semblerait donc qu'il dut en déduire, que les hydrates de carbone brûlent dans les cellules; l'auteur suppose cependant que le phénomène est plus compliqué; d'après lui, la combustion porte sur le protoplasma, qui se décompose sans cesse, si après quelques temps la production d'acide carbonique faiblit, c'est que le protoplasma s'est partiellement détruit, et n'a pu se reconstituer faute de réserves hydrocarbonées ; les hydrates de carbone formés pendant l'assimilation n'auraient d'autre fonction que de fournir au protoplasma des matériaux propres à le ré-

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 186.
(2) *Ann. agr.* t. IV, p. 610.

générer. M. Borodin partagerait donc, sur ce point, les idées de Garreau, de Corenwinder (1) et de M. Pflüger qui seraient appuyées encore par les relations signalées entre la formation des acides oxalique, tartrique et malique et la régénération des albuminoïdes à l'aide de l'asparagine. (Voy. plus loin les *Acides végétaux*.)

Il faut bien reconnaître cependant que cette opinion est bien loin d'être adoptée par tous les physiologistes; nous avons vu plus haut notamment que M. Krauss constate la disparition des hydrates de carbone pendant la respiration des spadices d'*Arum;* M. Jentys (2) arrive aux mêmes conclusions dans ses recherches sur la respiration.

§ 61. — Hypothèse sur la respiration végétale.

Nous avons montré dans ce chapitre que les plantes périssent quand elles sont longtemps privées d'oxygène; nous avons vu qu'il ne suffit même pas qu'une partie d'une plante s'épanouisse dans l'air, pour que sa vigueur soit assurée; son développement normal exige que tous les organes rencontrent une atmosphère oxygénée, et l'un des effets utiles du drainage est précisément d'assurer l'aération de la racine.

L'oxygène est donc nécessaire aux végétaux comme aux animaux, mais cette nécessité étant établie, si nous cherchons quelle est l'utilité que présente l'oxydation constante que subit la plante, nous n'avons que des hypothèses assez vagues à proposer.

En comparant la quantité d'acide carbonique produite par un certain poids d'animal à sang froid, à celle que produit la respiration d'un poids semblable de feuilles; on les trouve analogues : ni dans un cas ni dans l'autre, il n'y a dégagement de chaleur sensible, mais dans un animal cette chaleur est utilisée à produire du mouvement et on comprend par suite qu'elle n'apparaisse pas sous sa forme première; la plante au contraire est immobile, que devient donc la chaleur mise en jeu? Il est visible d'abord que les feuilles renfermant de 80 à 85 centièmes d'humidité ne s'échauffent que très difficilement, mais on peut supposer en outre que la chaleur mise en jeu soit métamorphosée en travail chimique nécessaire à l'élaboration des matériaux utilisés à la croissance.

Les phénomènes d'assimilation amènent dans les organes des

(1 *Ann. agr.*, t. VII, p. 642.
(2) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 138.

substances qui subissent dans les cellules de nombreuses métamorphoses avant de prendre leurs formes définitives, et on conçoit que ces métamorphoses exigent la mise en jeu d'une certaine quantité de chaleur qui serait produite par la respiration.

Dans cette hypothèse, la respiration serait la condition même de l'accroissement, d'où cette conclusion : la croissance n'est rapide, qu'autant que la respiration est active.

Or l'expérience enseigne, en effet, que l'élévation de la température extérieure est favorable à la croissance de la plante; dans une serre, sous une bâche où la température s'élève, les plantes parcourent hâtivement toutes les phases de leur développement. Les horticulteurs trouvent avantageux de perdre de la chaleur lumineuse en mettant les plantes sous des abris vitrés pour les soumettre à l'influence d'une température plus élevée. Nous avons vu, d'autre part, que l'élévation de température est particulièrement favorable à l'activité de la respiration, de telle sorte que la liaison entre la croissance et la respiration qu'exigeait notre hypothèse, apparaît clairement dans la pratique du *forçage* des plantes en serre.

Il semble, enfin, que la métamorphose constante des matériaux des êtres vivants, soit la condition même de la vie. L'animal périt aussitôt qu'il cesse de respirer; dans la plante dont la vie est moins active, la privation d'oxygène ralentit les métamorphoses, sans les arrêter complètement; pendant quelques heures, ou même quelques jours la respiration intra-cellulaire remplace la respiration normale; mais l'affaiblissement se produit peu à peu et la mort arrive quand la privation d'oxygène continuant, les transformations habituelles que déterminent la respiration normale, cessent de se produire.

§ 62. — Comparaison de la respiration a l'assimilation.

Nous avons déjà discuté la belle expérience de Garreau qui, plongeant un rameau feuillu dans un flacon renfermant de l'eau de baryte, a vu celle-ci se troubler même quand tout le système est exposé au soleil. C'est donc une preuve que constamment les feuilles émettent de l'acide carbonique; il est manifeste toutefois que l'émission d'acide carbonique, par suite la perte que la respiration cause au végétal est extrêmement faible par rapport à la respiration.

Quand on voit des arbres se développer dans des sols presque privés de matière organique et y acquérir un grand développement, il faut admettre que la recette de carbone par l'absorption puis la décomposition de l'acide carbonique aérien, c'est-à-dire l'assimilation, l'emporte de beaucoup sur la perte causée par la respiration.

Pour le montrer Corenwinder a exécuté une expérience, un peu grossière mais facile à répéter : une plante enracinée dans de la terre de jardin, est placée avec le pot où s'enfoncent ses racines sous une cloche que traverse un courant d'air. A la sortie celui-ci abandonne l'acide carbonique dont il est chargé à de l'eau de baryte.

En opérant successivement à la lumière et à l'obscurité, Corenwinder arrive à cette conclusion :

La quantité d'acide carbonique décomposée pendant le jour au soleil par les feuilles des plantes est beaucoup plus considérable que celle qui est exhalée par elles pendant la nuit. Le matin, il suffit souvent de trente minutes d'insolation pour récupérer ce qu'elles peuvent avoir perdu pendant leur séjour à l'obscurité (1).

Dans le travail, auquel nous avons fait déjà quelques emprunts, M. Kreusler (2) compare la respiration et l'assimilation dans des rameaux de la même plante : le seringat (*Philadelphus grandiflorus*), pris à divers états de développement et à deux températures différentes; il résume ses observations dans le tableau suivant, dont les nombres sont rapportés à des surfaces de feuilles égales.

Acide carbonique dégagé (à l'obscurité) ou décomposé à la lumière par un décimètre carré de feuille.

A, *avant la floraison.* B, *pendant la floraison.* C, *pendant la formation du fruit.* D, *par un rameau stérile garni de vieilles feuilles.*

		A Millig.	B Millig.	C Millig.	D Millig.
Acide carbonique émis à l'obscurité	à 25°	0.52	1.33	1.36	0.97
	15°	0.26	0.59	0.64	0.57
Acide carbonique décomposé à la lumière	25°	14.65	11.36	8.91	5.88
	15°	11.68	7.56	9.09	10.61

Pour les jeunes feuilles le rapport de l'assimilation à la respiration est $\frac{100}{3.5}$ à 25° ; et $\frac{100}{2.3}$ à 15° ; pour les vieilles feuilles, il est

(1) *Ann. de ch. et de phys.*, 3e série, t. LIV, p. 321.
(2) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 89.

$\frac{100}{16.5}$ à 25° et $\frac{100}{5.3}$ à 15°. L'assimilation est donc infiniment plus active que la respiration, le gain de carbone, infiniment supérieur à la perte, ce qui était évident *à priori*, sans qu'il fut oiseux de chercher les rapports existant entre ces deux fonctions opposées.

CHAPITRE VIII

PRINCIPES IMMÉDIATS CONTENUS DANS LES VÉGÉTAUX.

Nous avons exposé dans les premiers chapitres de cet ouvrage l'état actuel de nos connaissances, sur l'assimilation des divers éléments qui pénètrent dans les végétaux, s'y combinent les uns aux autres de façon à former l'extraordinaire variété de matières que nous utilisons pour notre alimentation et les besoins de notre industrie.

Nous devons dans le chapitre consacré aux principes immédiats décrire sommairement les matières les plus importantes que renferment les végétaux, en insistant sur les hypothèses actuellement proposées pour faire comprendre leur mode de formation.

Si en écrivant, en 1860, son admirable ouvrage, la *Chimie organique fondée sur la synthèse*, M. Berthelot a engagé la science dans une voie où elle a déjà fait de remarquables progrès, il faut reconnaître cependant, que les méthodes synthétiques employées dans le laboratoire sont souvent très différentes de celles qui paraissent entrer en jeu dans les cellules végétales et que nos connaissances sur la formation des principes immédiats sont encore rudimentaires ; nous indiquerons cependant toutes les fois que nous en trouverons l'occasion, les essais synthétiques qui ont été tentés.

En décrivant les principes immédiats, nous indiquerons aussi les méthodes analytiques employées pour les caractériser ; toutefois, nous réserverons pour les chapitres qui composent la quatrième partie de cet ouvrage, et qui sont consacrés aux cultures les plus importantes de notre pays, les méthodes à employer pour analyser les fourrages ou les plantes industrielles.

HYDRATES DE CARBONE.

§ 63. — Les hydrates de carbone proviennent de la condensation de l'aldéhyde méthylique CH^2O.

Le point de départ de la synthèse des matières organiques est la cellule à chlorophylle décomposant l'acide carbonique et dégageant un volume d'oxygène précisément égal à celui que renferme l'acide carbonique lui-même. Comme il a toujours été impossible d'obtenir de l'oxygène, en exposant aux radiations solaires des feuilles maintenues dans une atmosphère renfermant de l'oxyde de carbone, on a été conduit à penser que la cellule à chlorophylle ne réduisait pas intégralement l'acide carbonique en ses éléments, mais seulement en oxyde de carbone et oxygène ; dans ce cas il n'apparaîtrait pour un volume d'acide carbonique disparu qu'un demi-volume d'oxygène, et il faut faire intervenir la décomposition de l'eau, se réduisant en ses éléments pour trouver le demi-volume d'oxygène manquant, et comme enfin, il n'apparaît jamais d'hydrogène dans l'atmosphère où les feuilles décomposent l'acide carbonique, on est conduit à penser que les deux résidus oxyde de carbone et hydrogène se soudent l'un à l'autre pour former la première matière ternaire.

Nous avons déjà exposé plus haut, ces considérations, mais elles ont une telle importance pour le sujet traité, qu'il n'est pas inutile d'y revenir ici.

L'hypothèse que nous venons d'émettre, se heurte encore à une difficulté, l'impossibilité où l'on s'est trouvé jusqu'à présent de voir disparaître la moindre trace d'un mélange d'oxyde de carbone et d'hydrogène maintenu au contact des feuilles insolées ; d'où, il faudrait conclure que ces deux gaz ne s'unissent pas dans la cellule quand ils lui sont présentés isolés ; on lève cette dernière difficulté en admettant que la matière qui se décompose dans la feuille n'est pas l'anhydride carbonique CO^2, mais bien l'acide carbonique hydraté CH^2O^3. Cet acide carbonique hydraté n'a pas été isolé, il est vrai, mais on peut soupçonner son existence par ce fait que les feuilles absorbent toujours un peu plus d'acide carbonique que n'en peut dissoudre l'eau qu'elles renferment (1).

Si on admet l'existence de l'hydrate d'acide carbonique, on con-

(1) Dehérain et Maquenne, *Ann. agron.*, t. XII, p. 526.

çoit très bien que CH^2O^3, se décompose en donnant $CH^2O + 2O$, volume d'oxygène égal à celui de l'acide carbonique décomposé.

Le premier produit formé dans la cellule à chlorophylle serait donc, en adoptant l'idée émise pour la première fois par Baeyer, l'aldéhyde méthylique.

Nous allons voir que cette hypothèse est solidement appuyée par les faits suivants :

1° Si on ne trouve pas d'aldéhyde méthylique dans les végétaux, on y rencontre deux dérivés très voisins, l'acide formique et l'esprit de bois.

2° Il est possible en polymérisant l'aldéhyde méthylique de produire des sucres identiques à ceux qu'on trouve dans les végétaux.

3° Il existe dans les plantes des produits renfermant cinq atomes de carbone, ou des multiples de cinq : les gommes, et sept atomes de carbone, la perséite, dont la synthèse se comprend aisément si on suppose que les hydrates de carbone proviennent de la condensation graduelle d'une matière ne contenant qu'un seul atome de carbone.

Présence dans les végétaux de l'acide formique et de l'alcool méthylique. — On n'a pas constaté avec certitude (1) la présence dans les feuilles de l'aldéhyde méthylique et on ne doit pas s'en étonner, toutes les aldéhydes se polymérisent aisément, et on conçoit qu'on ne trouve dans les organes végétaux que des polymères formés par condensation ou des dérivés provenant de l'union directe de cet aldéhyde soit avec l'oxygène, soit avec l'hydrogène, or on trouve dans les feuilles : l'acide formique $CH^2O^2 = CH^2O + O$ et l'alcool méthylique $CH^4O = CH^2O + H^2$.

L'acide formique, découvert par Margraft dans les fourmis rouges, a été caractérisé, en effet, dans les feuilles fraîches de pin et de sapin, dans le suc de la joubarbe, dans celui de la saponaire et dans les tamarins ; on peut concevoir qu'il provienne de l'oxydation de matières organiques complexes, on sait notamment que l'essence de térébenthine s'oxyde lentement en donnant de l'acide formique, mais on peut croire également qu'il provient de l'oxydation directe de l'aldéhyde formique.

En distillant des feuilles des graminées du gazon, de fusain du Japon, de lierre, de maïs, d'ortie, M. Maquenne a pu obtenir de

(1) M. Reinke a signalé dans les produits de la distillation des feuilles de vigne des traces d'une substance volatile réduisant le nitrate d'argent. *Ann. agron.*, t. VIII. p. 312.

petites quantités d'alcool méthylique qu'il a caractérisé par la formation de son iodure (1). Les rendements ont été de 10 à 30 grammes d'alcool méthylique pour 100 kilogrammes de plantes fraîches.

L'alcool méthylique ne diffère de l'aldéhyde que par deux atomes d'hydrogène : $CH^2O + H^2 = CH^4O$.

Cette transformation se réalise aisément dans les laboratoires et il est vraisemblable qu'elle se produit dans les plantes.

Si donc nous ne trouvons pas dans les plantes l'aldéhyde méthylique elle-même, très instable et se polymérisant facilement, nous y rencontrons ses deux dérivés immédiats, l'acide formique et l'alcool méthylique ; et leur présence paraît être une preuve que l'aldéhyde méthylique constitue bien le résidu de la décomposition de l'hydrate d'acide carbonique dans la cellule à chlorophylle, c'est au reste ce qu'appuient les expériences suivantes :

Synthèse du formose. — M. Lœw a réussi à transformer l'aldéhyde méthylique en une matière sucrée, qu'il a désignée sous le nom de formose.

En traitant une solution étendue d'aldéhyde méthylique par la chaux à la température ordinaire, M. Lœw a d'abord obtenu un produit réduisant la liqueur de Felhing, présentant l'ensemble des propriétés des sucres, mais inactif à la lumière polarisée et non fermentescible. Ce produit, au reste, est un mélange de plusieurs isomères différents, répondant à la formule des glycoses $C^6H^{12}O^6$; quand on traite le formose brut par un réactif précieux : la phénylhydrazine qui s'unit aisément aux glycoses, on obtient des combinaisons cristallines que l'on sépare les unes des autres par les dissolvants neutres ; l'une de ces combinaisons présente exactement la composition $C^{18}H^{22}Az^4O^4$ que l'on obtient en unissant directement la dextrose à la phénylhydrazine. La formose renferme donc bien un isomère des glycoses (Fischer) (2).

En outre Lœw a réussi en remplaçant la chaux par un mélange de plomb et de sulfate de magnésie à transformer l'aldéhyde méthylique en une variété de formose qui fermente activement en présence de la levure comme la dextrose ordinaire.

Hydrates de carbone renfermant 5 et 7 atomes de carbone. — Si les hydrates de carbone proviennent de la condensation de plusieurs molécules d'aldéhyde méthylique, il serait extraordinaire

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 113.
(2) *Id.*, t. XVI, p. 220.

qu'on ne rencontrât dans les végétaux que des hydrates renfermant 6 atomes de carbone ou des multiples de 6, tels que les glycoses $C^6H^{12}O^6$, des saccharoses $C^{12}H^{22}O^{11}$ des matières amylacées ou cellulosiques n $(C^6H^{10}O^5)$; or des recherches récentes ont montré que les gommes donnent une matière, l'arabinose qui renferme seulement 5 atomes de carbone, la gomme de paille et de bois découverte par Tollens, caractérisée dans la paille par M. Hébert, donne également par l'action des acides un sucre : le xylose, qui renferme 5 atomes de carbone.

On peut objecter, sans doute, que les gommes ou la gomme de paille ne donnent d'arabinose ou de xylose que par un traitement énergique par les acides, qui peut séparer de la molécule primitive de l'acide carbonique ou de l'acide formique et que par conséquent les produits préexistants dans les végétaux sont peut-être des hydrates renfermant 6 atomes de carbone ; mais cette objection ne peut pas infirmer l'argument tiré de la composition de la perséite.

En étudiant, en effet, la perséite découverte par MM. Muntz et Marcano, M. Maquenne a pu en tirer un carbure d'hydrogène, l'heptyle, renfermant 7 atomes de carbone, d'où il faut conclure que la perséite doit être formulée $C^7H^{16}O^7$, de telle sorte que l'hypothèse émise au commencement de ce paragraphe se trouve appuyée par la présence dans les végétaux de matières qu'on peut supposer provenir de la condensation d'un nombre varié de molécules d'aldéhyde formique.

La polymérisation de l'aldéhyde formique donnant naissance à des sucres, il est naturel de commencer l'étude des principes immédiats par celle des substances qui paraissent constituer les premières matières végétales, d'où dérivent toutes les autres.

§ 64. — Matières sucrées.

Les matières sucrées se partagent en trois groupes ; dans le premier se placent les substances qui sont représentées par n (CH^2O) réduisant habituellement la liqueur cupropotassique, ce sont les glycoses et leurs homologues.

Le second groupe résulte de l'hydrogénation des corps précédents ; ce sont les alcools correspondant aux glycoses considérés comme aldéhydes.

Le troisième groupe est formée par l'union des corps du pre-

mier avec élimination d'eau, ils sont désignés sous le nom de polyglucoses.

Le tableau suivant indique ceux de ces composés qu'on rencontre le plus fréquemment dans les végétaux.

	Premier groupe. — ALDÉHYDES.	Deuxième groupe. — ALCOOLS.	Troisième groupe. — POLYGLYCOSES.		
3(CH²O)	$C^3H^6O^3$ (1) Aldéhyde glycérique.	$C^3H^8O^3$ Glycérine.			
4(CH²O)		$C^4H^{10}O^4$ Érythrite.			
5(CH²O)	$C^5H^{10}O^5$ Arabinose Xylose.	$C^5H^{12}O^5$ Arabite Xylite.	$C^{10}H^{18}O^9$ Arabinobiose.		$n(C^5H^{10}O^5)$ Gomme. Gomme de paille.
6(CH²O) (2)	$C^6H^{12}O^6$ Glycose, Levulose, Galactose, Mannose, Sorbine.	$C^6H^{14}O^6$ Mannite, Dulcite, Sorbite.	$C^{12}H^{22}O^{11}$ Saccharose, Lactose, Maltose, Trétralose.	$C^{18}H^{32}O^{16}$ Mélesitose, Raffinose,	$n(C^6H^{10}O^5)$ Dextrines, Amidon, Cellulose.
7(CH²O)		$C^7H^{16}O^7$ Perséite.			

Propriétés des glycoses. — Les glycoses ont une saveur sucrée beaucoup moins franche que celle du sucre de canne, en général ils cristallisent difficilement, ils sont très solubles dans l'eau, on peut également les dissoudre dans l'alcool, ils réduisent facilement la liqueur cupropotassique, qui est généralement employée pour les doser ainsi que nous l'avons indiqué déjà (p. 35).

Les principaux glycoses nettement définis sont la dextrose ou glycose, la lévulose et la galactose : cette dernière substance, qu'on dérive du sucre de lait, est dextrogyre comme la dextrose.

La dextrose et la lévulose se rencontrent souvent dans les fruits; pendant la maturation des raisins la dextrose précède la lévulose, à la maturité ces deux glycoses se trouvent presqu'en égale proportion comme dans le produit désigné sous le nom de sucre interverti, qu'on obtient en attaquant le sucre de canne par les acides. La

(1) Nous imprimons en italique les formules des matières produites dans les laboratoires mais non encore signalées dans les végétaux.

(2) Il convient d'ajouter à ce groupe d'isodulcite ($C^6H^{12}O^6$).

(3) L'inosite bien que présentant la même formule que les glycoses appartient cependant par ses propriétés à la classe des mannites; il en est de même de la quercite.

transformation de la dextrose en lévulose ayant été réalisée dans le laboratoire, il est possible, que dans les fruits, la lévulose provienne de la dextrose formée d'abord.

La galactose paraît surtout exister dans les plantes à l'état de polyglycoses : gommes ou mucilages. Tous les produits de ce genre, en y comprenant les matières pectiques, donnent en effet de la galactose quand on les fait bouillir avec de l'acide sulfurique étendu (Muntz). Il est facile d'ailleurs de constater sa présence sans l'isoler à l'état de pureté, car ce corps est la seule glycose qui donne de l'acide mucique quand on la traite par l'acide azotique concentré.

Les glycoses paraissent être le premier produit stable qui se forme par la polymérisation de l'aldéhyde méthylique; ce sont encore cependant des produits de transition et ils ne s'accumulent en quantités notables que dans les fruits; habituellement la plante constitue ses réserves ou bien sous forme de saccharose ou bien sous celle d'amidon, qui apparaît dans certaines feuilles, notamment dans celles des tabacs en quantités notables.

Cependant il est habituellement aisé de montrer la présence d'un sucre réducteur dans les feuilles; on en fait un extrait par pression, on chauffe pour coaguler l'albumine qui entraîne la chlorophylle, la liqueur filtrée est traitée par le sous-acétate de plomb, un excès de sulfate de soude et concentré au bain-marie; ajoutée à la liqueur cupropotassique elle donne un abondant précipité d'oxydule de cuivre.

M. Arthur Meyer (1) a montré que lorsque les feuilles accumulent de grandes quantités d'amidon, les hydrates de carbone solubles ne s'y trouvent qu'en petites quantités, tandis qu'au contraire on les rencontre en quantités notables dans les feuilles qui ne renferment que peu d'amidon; il a dressé le tableau suivant :

A. Feuilles accumulant de grandes quantités d'amidon.

a. Topinambour. — Feuilles sans les pétioles, jus simplement filtré.

b. Tabac. — Feuilles privées de leurs côtes. Jus bouilli et traité par l'acétate de plomb.

c. Saponaire. — Feuilles, jus filtré.

B. Feuilles accumulant peu d'amidon.

d. Gentiane jaune. — Feuilles sans les pétioles. Jus filtré.

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 480.

e. Iris. — Partie supérieure des feuilles. Jus filtré.
f. Oignon. — Feuilles.
g. Asphodèle.
h. Yucca.
i. Ciboulette.

100 centimètres cubes de jus renferment en grammes :

	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
Hydrates de carbone réducteurs.....	0.05	0.12	0.04	2.1	2.5	2.5	2.6	2.9	0.706
Hydrates de carbone non réducteurs...	0.002	1.5	0.12	0.6	0.4	0.7	0.2	5.0	0.174
Somme des hydrates de carbone.....	0.052	1.62	0.16	2.7	2.9	3.2	2.8	7.9	0.88

On voit que la plupart des plantes qui élaborent peu ou point d'amidon, accumulent au contraire des quantités relativement fortes de substances solubles et réductrices, probablement de glycoses. La ciboulette (1) fait exception ; la feuille de cette plante, quoique privée d'amidon, ne renferme que peu d'hydrates de carbone solubles.

Nous aurons occasion plus loin de montrer que les hydrates de carbone solubles se transforment dans les feuilles en amidon ; et ce sera une nouvelle preuve à l'appui de l'idée développée dans ce paragraphe : les glycoses constituent le premier hydrate de carbone que forme la polymérisation de l'aldéhyde méthylique produite par l'activité chlorophyllienne.

Dosage des glycoses. — Ce dosage s'exécute soit à l'aide de la liqueur cupropotassique (1), soit par les méthodes optiques.

Pour les essais par la méthode optique on emploie habituellement le polarimètre Laurent, la lumière est fournie par un bec de gaz A dont la flamme se colore en jaune en passant sur une petite nacelle contenant du chlorure de sodium ; la partie mobile de la graduation étant au zéro, on voit deux demi-disques également colorés en jaune quand on place dans le tube qui est placé dans l'appareil suivant la direction indiquée par la ligne ponctuée : de l'eau ou une matière inactive, mais un des demi-disques au contraire se colore

(1) Nous avons indiqué déjà p. 34 comment s'exécute le dosage par la liqueur cupropotassique et nous n'avons pas à y revenir.

fortement en noir quand le tube renferme une matière agissant sur la lumière polarisée, tel est le cas des sucres.

On les distingue en deux classes, suivant qu'ils exercent la rotation du plan de polarisation de la lumière à droite : ou à gauche, les premiers sont dits dextrogyres et les seconds lévogyres.

Le sucre de canne est dextrogyre; quand il est métamorphosé par l'action des acides étendus, agissant à l'ébullition, en sucres ré-

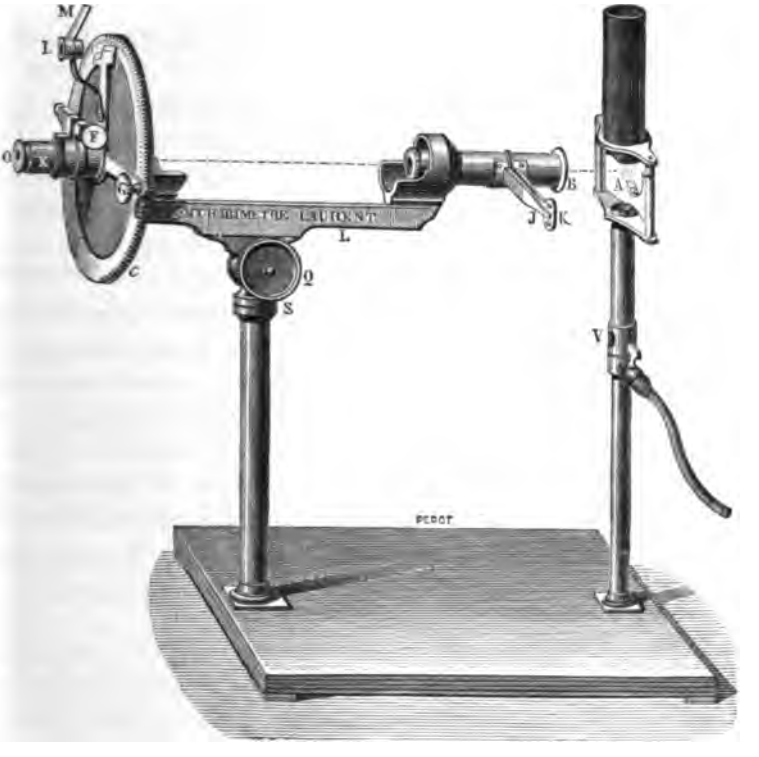


Fig. 37. — Saccharimètre Laurent.

ducteurs, il donne à la fois en quantités équivalentes une glycose dextrogyre, la dextrose, et une autre lévogyre, la lévulose. A égalité de poids la lévulose exerce sur la lumière polarisée une action beaucoup plus énergique que la dextrose, de telle sorte que le mélange de ces deux glycoses exerce la rotation à gauche, aussi, quand on a chauffé le sucre avec un acide, dit-on qu'on l'a *interverti*, et en effet, tandis que le sucre primitif exerçait une rotation à droite,

le mélange des deux glycoses donne, comme nous venons de le dire, la rotation à gauche.

L'appareil est disposé de telle sorte qu'on peut compléter l'effet produit par le sucre en faisant tourner le prisme analyseur placé en avant de l'appareil et on conçoit que le mouvement qu'on a imprimé à ce prisme, indiqué par la rotation qu'on imprime par la virole G, donne un angle d'autant plus ouvert que la dissolution était plus concentrée, et que par suite, on ait pu construire des tables qui donnent la concentration du liquide en fonction de l'angle observé pour arriver à établir l'égalité de teinte des deux demi-disques.

Quand cette égalité est établie, on lit la division auquel on est arrivé, à l'aide de la loupe L qui porte un petit miroir M destiné à éclairer les divisions marquées sur le cercle, et à permettre de déterminer exactement à quel chiffre correspond le zéro marqué sur la plaque mobile entraînée dans le mouvement imprimé par la virole G.

On a déterminé des coefficients, à l'aide desquels on peut déduire de l'angle observé, la quantité de substance active existant dans une liqueur qui ne renferme que l'une d'elles, ou dans un mélange défini, comme le sucre interverti ; dans la formule suivante : $C = b.\alpha$. C est la quantité contenue dans 100 centimètres cubes, b est le coefficient, α est la déviation observée pour un tube de 20 centimètres ou de 22 si pour clarifier la matière on a été obligé d'ajouter à 10 centimètres cubes du liquide 1 centimètre cube de sous-acétate de plomb (1).

Les coefficients sont :

Dextrose :	+ 0.943
Levulose :	— 0.500 α à 15° (2)
Lactose :	+ 0.957
Maltose :	+ 0.357
Sucre interverti :	— 2.134 α

Inosite. — Bien que l'inosite présente la formule des glycoses, elle ne réduit pas la liqueur de Felhing et par l'ensemble de ses propriétés se rapproche plutôt des mannites.

(1) Quand on emploie le sous-acétate de plomb pour clarifier, et qu'on ne veut pas étendre la liqueur en le précipitant par du sulfate de soude, il est bon d'ajouter au liquide quelques gouttes d'acide acétique afin de saturer l'oxyde de plomb du sous-acétate ; on évite aussi que le liquide ne devienne trouble par formation de carbonate de plomb due à l'acide carbonique de l'air.

(2) Le coefficient varie de + ou — 0,0035 par chaque degré au-dessus ou au-dessous de 15° ; ainsi à 20° par exemple : $C = 0{,}518\alpha$ et à 25° : $C = 0{,}535\alpha$.

On connaît aujourd'hui quatre inosites distinctes, l'une, inactive à la lumière polarisée par constitution, se rencontre en petites quantités dans les muscles et dans un grand nombre de produits végétaux, notamment dans les feuilles de noyer, on la tire également de la dambonite extraite par M. Aimé Girard des arbres à caoutchouc. M. Maquenne a tiré, en outre, de la pinite extraite des pins par M. Berthelot, une inosite dextrogyre qui a été reconnue identique avec le matezo-dambose obtenu autrefois par M. Aimé Girard d'un sucre contenu dans un arbre à caoutchouc de Madagascar. M. Tanret de son côté a extrait de la québrachite : une inosite lévogyre présentant en sens inverse le même pouvoir rotatoire, que l'inosite dextrogyre de M. Maquenne (1). En combinant ces deux inosites, on en prépare une quatrième, inactive par compensation.

L'inosite donne aisément naissance à des substances appartenant à la série aromatique dans laquelle sont classés les tannins, nous aurons occasion d'y revenir plus loin.

Mannites. — Tous les chimistes connaissent les relations qui existe entre les aldéhydes et les alcools :

A l'aldéhyde méthylique.....	CH^2O
Correspond l'alcool méthylique.....	CH^4O
A l'aldéhyde éthylique.....	C^2H^4O
Correspond l'alcool ordinaire.....	C^2H^6O

la relation qui existe entre les glycoses et les mannites est du même ordre, les glycoses sont les aldéhydes des mannites.

Au type glycose.....	$C^6H^{12}O^6$
Correspond le type mannite.....	$C^6H^{14}O^6$

ne diffèrant du précédent que par deux atomes d'hydrogène.

Les mannites sont des alcools hexatomiques.

Elles présentent les caractères suivants : cristallisation assez facile, ne réduisant pas la liqueur cupropotassique.

On connaît actuellement trois substances isomères : la mannite ordinaire, la dulcite et la sorbite.

La première, découverte à l'origine dans la manne, a été rencontrée depuis dans un grand nombre de plantes et de fruits, dans les olives, l'ananas, les figues, les varechs. Les champignons en renferment souvent de grandes quantités, enfin la mannite paraît prendre naissance dans certaines fermentations réductrices, c'est sans

(1) *Comptes rendus*, t. CIX et CX.

doute à cette cause qu'il faut attribuer sa présence dans la choucroute et dans le maïs ensilé.

La mannite paraît provenir elle-même de la condensation de l'aldéhyde méthylique, en effet Fisher a obtenu en partant d'un polymère de cet aldéhyde, l'aldéhyde glycérique $C^2H^6O^3$: un sucre qu'il a désigné sous le nom d'*acrose;* or l'acrose traité par l'amalgame de sodium fournit un sucre non réducteur, ayant toutes les propriétés de la mannite, sauf le pouvoir rotatoire.

Dulcite. — Elle existe dans certaines mannes, on l'a rencontrée également dans le fusain vulgaire.

Sorbite. — Se trouve dans les fruits de la plupart des rosacées, pommes, poires, nèfles, et par suite dans le cidre.

Perséite. — Cette substance, découverte dans les noyaux du fruit de l'avocatier (*laurus persica*) par MM. Muntz et Marcano a été d'abord considérée comme un isomère de la mannite, mais M. Maquenne a montré qu'elle constituait son homologue supérieur et que sa formule devait être écrite $C^7H^{16}O^7$, qu'elle représentait par conséquent sept molécules d'aldéhyde méthylique auxquelles étaient venus s'ajouter deux atomes d'hydrogène.

La perséite est le premier exemple d'un alcool heptatomique, les mannites avaient été en effet caractérisées depuis longtemps comme alcools hexatomiques par M. Berthelot, au moment même où il a écrit : la Chimie organique fondée sur la synthèse (1860) qui a exercé une action si décisive sur les progrès de la science.

§ 65. — Polyglycoses.

Nous venons d'esquisser rapidement l'histoire des glycoses qui paraissent être formés par condensation de l'aldéhyde méthylique, et des mannites dont on conçoit la formation à l'aide des glycoses par simple addition d'hydrogène.

Nous devons maintenant aborder l'histoire des composés formés par l'union de deux ou trois glycoses soudés les uns aux autres avec élimination d'eau, ces composés sont désignés sous le nom de polyglycoses, partagés eux-mêmes en *bioses* et *trioses* suivant que par hydratation ils fournissent deux ou trois molécules de glycoses.

Les bioses désignés souvent sous le nom de saccharoses répondent à la formule $C^{12}H^{22}O^{11}$; ils sont formés par deux molécules de glycoses identiques ou différentes; on met aisément cette constitu-

tion en lumière en attaquant les saccharoses par les acides étendus agissant à l'ébullition.

La *maltose* est une saccharose qui prend naissance par l'action de la diastase sur l'amidon, sa formation est toujours accompagnée de celle de la dextrine; chauffée avec un acide la maltose ne donne que de la dextrose.

La *lactose* ne se rencontre que dans le lait, l'ébullition la transforme en parties égales de dextrose et de galactose.

Sucre de canne ou saccharose. — Le sucre de canne existe dans les feuilles de certains végétaux et notamment de la betterave; ce fait, observé par différents chimistes (Corenwinder, Deherain), a été l'objet de travaux importants dus à M. Aimé Girard.

Il a montré que la lumière intervient efficacement dans la production du sucre de canne dans les feuilles de la betterave (1), mais on ne saurait décider si ce sucre provient directement de l'activité chlorophyllienne, ou bien s'il est formé par l'union de deux sucres réducteurs formés par condensation de l'aldéhyde méthylique, puis soudés l'un à l'autre, sous l'influence de la lumière solaire.

Cette dernière manière de voir paraît la plus probable si on se reporte à ce qu'a observé M. Icery pour la production de la saccharose dans la canne à sucre (2). Cet auteur montre que si on analyse séparément le haut de la canne encore couronnée d'un bouquet de feuilles, puis le centre que les feuilles flétries laissent exposé aux radiations solaires, on trouve dans le haut de la tige directement en contact avec les organes chlorophylliens, une quantité notable de sucres réducteurs, dextrose et lévulose, tandis que leurs proportions diminuent considérablement dans la partie centrale où au contraire la saccharose est beaucoup plus abondante que dans la partie ombragée.

Dans la canne, la saccharose n'atteint son maximum et les sucres réducteurs leur minimum qu'au moment où la végétation s'arrête, on dit alors que la canne est mûre; tant qu'elle est en pleine végétation, les sucres réducteurs sont abondants, et ils restent tels si des arrosages copieux ou des pluies intempestives maintiennent l'activité des feuilles.

Il semble donc que suivant les considérations développées plus haut, la cellule à chlorophylle fournisse comme premier terme de polymérisation de l'aldéhyde méthylique : des sucres réducteurs, et

(1) Voyez quatrième partie.
(2) Dr Icery, *Ann. de ch. et de phys.*, 4e série, t. V, p. 350, 1865.

que ceux-ci par une réaction précisément inverse de celle qu'on réalise, quand on intervertit le sucre de canne, se soudent l'un à l'autre avec élimination d'eau pour donner le saccharose. Cette dernière réaction serait favorisée par la lumière solaire, de telle sorte que dans la canne c'est la partie insolée qui est riche en saccharose et dans la betterave c'est après une journée lumineuse que les feuilles en renferment davantage.

Dosage du sucre de canne. — Le sucre de canne se dose par la liqueur de Felhing en commençant par l'intervertir ainsi qu'il a été dit plus haut.

Le dosage par les procédés saccharimétriques s'exécute très aisément quand le sucre n'est pas mélangé d'autres matières actives.

Quand il s'agit par exemple de déterminer la quantité de sucre contenu dans le jus extrait d'une betterave, on prend 50 centimètres cubes de ce jus, on y ajoute 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, on agite fortement, puis on complète le volume à 100 centimètres cubes avec une dissolution concentrée de sulfate de soude et on filtre.

On introduit le liquide clair dans un tube de 22 centimètres cubes, on voit de combien il faut faire tourner pour arriver à l'égalité des teintes; le saccharimètre Laurent donne immédiatement le chiffre cherché, qu'il faut doubler puisque le liquide est étendu de moitié son poids d'eau.

On peut encore doser le sucre de canne par fermentation; en effet, s'il ne fermente pas directement, il s'intervertit et devient fermentescible sous l'influence de ferments solubles que sécrètent la levure de bière et plusieurs autres ferments; on peut au reste hâter cette action en ajoutant au jus sucré un acide minéral étendu qui détermine rapidement l'apparition de glucoses fermentescibles.

L'alcool formé est séparé par distillation, un alcoomètre permet de déterminer la quantité d'alcool obtenu; cet appareil est gradué pour la température de 15°, il existe des tables qui permettent de déduire la quantité réelle d'alcool contenu dans un liquide dont la densité a été déterminée à une température différente de 15°; bien que l'équation classique qui suppose que $C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O = 4C^2H^6O + 4CO^2$ ne soit pas rigoureuse, puisqu'elle suppose qu'il ne se forme que de l'acide carbonique et de l'acool, tandis que M. Pasteur a montré que l'acide succinique et la glycérine apparaissent toujours; bien que 342 de sucre de canne forment, en fixant de l'eau et sans tenir compte des deux éléments produits en petite quantité, 196 d'acide

carbonique et 184 d'alcool, on aura une approximation grossière mais suffisante pour la pratique agricole, en attribuant aux betteraves une quantité de sucre double du poids d'alcool qu'elles ont fourni.

Lactose. — Le lactose bien qu'isomère avec le sucre de canne réduit la liqueur cupropotassique comme du glucose ; il s'extrait du petit lait par simple évaporation et cristallise facilement.

Maintenu en ébullition prolongée avec de l'acide sulfurique étendu, le lactose se dédouble comme le sucre de canne en fixant de l'eau et donnant deux glucoses doués de propriétés différentes qui sont désignés sous les noms de dextrose et de galactose. Le galactose produit par oxydation de l'acide mucique, tandis que la glycose n'en fournit pas; l'amalgame de sodium en ajoutant de l'hydrogène au premier en fait de la *dulcite*, tandis que le second traité par le même réactif se métamorphose en *mannite*.

Raffinose ou Mélitose. — Ce sucre présente cet intérêt qu'il est formé par la combinaison de trois molécules de glucoses; quand on l'attaque par les acides, il se transforme en une molécule de glycose, une de lévulose et une troisième de galactose, ce dernier forme donc le tiers du mélange.

Extraite d'abord de la manne d'Australie, cette substance a été retrouvée plus tard dans les graines de coton et enfin dans la betterave à sucre. C'est ce produit qui, s'accumulant dans les mélasses, altère la forme des cristaux de sucre des sucrateries et donne ce que les fabricants appellent le sucre pointu.

§ 66. — Gommes.

Les gommes sont des substances abondantes dans le règne végétal. En se dissolvant dans l'eau elles lui donnent une consistance mucilagineuse. Traitées par l'acide azotique, elles produisent de l'acide oxalique et de l'acide mucique. Elles précipitent par le sous-acétate de plomb. On distingue plusieurs espèces de gomme. La *gomme arabique* identique avec celle du Sénégal s'écoule de certains acacias ; sous l'influence des acides étendus, elle donne un sucre particulier, l'arabinose, considéré par Kiliani comme présentant la formule $C^5H^{10}O^5$; on suppose que l'arabinose provient d'un simple dédoublement de la gomme arabique, comme la dextrose et la levulose proviennent du sucre de canne, ou la dextrose de l'amidon, il en faudrait conclure que les gommes proviennent, ainsi qu'il a été dit, de l'agglutination de n ($5CH^2O$).

Il en serait de même pour un autre produit désigné par Wheller et Tollens comme gomme de bois, retrouvé par eux et par Hébert dans la paille (1). On l'obtient aisément en traitant la paille à froid par une lessive de soude, puis précipitant par l'alcool, on sépare ainsi une masse gélatineuse qui se colore en séchant ; sous l'influence des acides elle fournit un sucre réducteur, le xylose : $C^5H^{10}O^5$.

M. Muntz a extrait de la graine de luzerne une matière dextrogyre ayant probablement la même composition que les gommes, donnant sous l'influence de l'acide azotique de l'acide mucique et fournissant par les acides étendus du galactose. Cette matière désignée sous le nom de galactine passe peut-être directement dans l'organisme animal des femelles des herbivores pour y constituer le sucre de lait sécrété par les organes de lactation.

§ 67. — Dextrines.

On trouve dans les végétaux des substances solubles, incristallisables, exerçant un pouvoir rotatoire considérable et se rapportant à la formule $n(C^6H^{10}O^5)$; quelques-unes d'entre elles prennent naissance aisément par l'action des acides ou des ferments solubles sur l'amidon, on les désigne sous le nom de *dextrines*, elles exercent la rotation à droite et donnent par l'action des acides uniquement du dextrose, ou sucre réducteur droit.

C'est encore dans ce groupe qu'il faut placer la synanthrose, observé d'abord dans les synanthérées, puis retrouvé par M. Muntz dans le seigle arrivant à maturité.

Ces composés donnant naissance à des sucres réducteurs de forme $C^6H^{12}O^6$ paraissent en dériver par juxtaposition avec élimination d'eau ; la synanthrose se distingue au reste nettement des dextrines parce qu'elle fournit de la lévulose.

Ces matières paraissent être intermédiaires entre l'amidon et les glycoses ; elles se rencontrent aussi bien dans les céréales non encore arrivées à maturité, que dans les produits de la décomposition de l'amydon, obtenue soit par la diastase, soit par les acides.

§ 68. — Matières amylacées.

On désigne sous le nom d'amidon une matière solide, blanche, formée de grains dont la grosseur varie dans de larges propor-

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 358.

tions d'une plante à une autre : tandis que les grains d'amidon du riz et du sarrasin sont d'une extrême finesse, ceux du blé et du seigle sont déjà de bien plus fortes dimensions et ceux qui constituent la fécule de pommes de terre encore plus volumineux.

Tous ces grains arrondis, ovoïdes, présentent un caractère commun, constamment employé pour reconnaître l'amidon : ils bleuissent par l'iode ; en glissant entre les deux lames du microscope un peu d'eau iodée sur des grains d'amidon, on les voit se colorer nettement en bleu.

L'amidon appartient à la famille des hydrates de carbone de la formule n ($C^6H^{10}O^5$) ; quand on attaque l'amidon par un acide étendu à l'ébullition, on le transforme en dextrose, dont la quantité peut être déterminée par la liqueur de Felhing, ainsi qu'il a été dit page. 38.

Recherche dans les feuilles. — L'amidon apparaît dans les cellules à chlorophylle éclairées et les naturalistes ont cru souvent que l'amidon représentait le premier produit de l'assimilation ; c'est le produit qui constitue la première réserve apparente, mais nous montrerons un peu plus loin qu'entre l'acide carbonique et l'amidon, il existe sans doute un grand nombre d'intermédiaires.

Pour caractériser l'amidon en place dans les feuilles, on commence par gonfler légèrement l'amidon qu'elles renferment en les plaçant dans une dissolution étendue de potasse portée à l'ébullition, puis on les décolore en les faisant bouillir dans l'alcool ; quand la chlorophylle a disparu, on immerge les feuilles dans la teinture d'iode ; on les y laisse douze heures, on enlève par des lavages à l'alcool l'excès d'iode, puis on place les feuilles décolorées dans l'eau, où quand elles sont riches en amidon elles prennent une belle couleur bleue.

Les feuilles de vigne, celles de tabac se prêtent très bien à cette recherche ; on a une preuve saisissante que l'accumulation de l'amidon dans les feuilles est liée à l'action des radiations solaires, par les observations suivantes : en cueillant des feuilles le matin avant l'insolation, l'iode les laisse incolores ; si on les prend au contraire à la fin d'une belle journée bien éclairée, on les voit se colorer fortement ; si on a la précaution de choisir une feuille qui, partiellement recouverte par ses voisines, n'a été insolée que sur une partie de sa surface, on reconnaît que cette partie éclairée seule est colorée en bleu, l'iode ne décelant aucune trace d'amidon dans la partie restée dans l'ombre.

On peut même aller plus loin : coller sur une feuille avant qu'elle

ne soit insolée un écran en papier noirci, dans lequel on découpe des caractères. On laisse le soleil agir quelques heures, puis on traite la feuille par la potasse, l'alcool et l'iode, les caractères tracés apparaissent en bleu foncé, car l'amidon ne s'est formé qu'aux points insolés. Cette expérience a été réalisée récemment à Grignon sur l'aristoloche.

Mode de formation. — Quand on attribuait à l'amidon une formule analogue à celle des matières sucrées, on pouvait croire que cet amidon était le premier produit de l'activité chlorophyllienne ; aujourd'hui que nous savons que l'amidon renferme beaucoup plus d'atomes de carbone que les glycoses, les saccharoses et les dextrines, nous pensons qu'il est formé par la combinaison d'un certain nombre de molécules de glycose et qu'il provient de la polymérisation successive de l'aldéhyde méthylique s'arrêtant aux étapes : glycoses, saccharoses, dextrines, avant de s'élever jusqu'à la formation de l'amidon.

Cette manière de voir est appuyée par les expériences de Bœhm, de Meyer et de Laurent sur la formation de l'amidon aux dépens des matières sucrées. (1) M. J. Bœhm puis M. Meyer placent des feuilles ou des fragments de feuilles privées d'amidon par un séjour prolongé à l'obscurité, sur des dissolutions de diverses matières sucrées et cherchent si, après quelque temps, ces feuilles renferment de l'amidon bien qu'elles n'aient pas été exposées aux radiations lumineuses. Ces auteurs ont reconnu qu'un grand nombre de matières sucrées ainsi employées, font apparaître de l'amidon dans les feuilles.

M. Meyer tire de ses nombreuses expériences les conclusions suivantes : 1° La dextrose, comme la lévulose, comme la galactose, peuvent être transformées en amidon par les cellules parenchymateuses des végétaux supérieurs. 2° Il existe des plantes dont le parenchyme peut faire de l'amidon avec ces trois espèces de sucre réducteur, mais toutes ne sont pas dans ce cas. Presque toutes les plantes forment beaucoup d'amidon avec une solution de lévulose à 50 p. 100, une quantité relativement faible sur la dextrose, tandis qu'un petit nombre seulement en élaborent sur la galactose.

En général, les plantes forment surtout de l'amidon avec le sucre que les tissus renferment naturellement. Ainsi les *composées* contiennent de l'inuline qui donne de la lévulose par l'inversion ; or

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 182 ; t. XII, p. 209 ; t. XIV, p. 273.

ces plantes donnent beaucoup d'amidon sur la lévulose, des traces seulement sur la dextrose et pas d'amidon sur la galactose. De même, les *caryophyllées* qui renferment de la galactose forment beaucoup d'amidon sur ce sucre.

On n'a rien obtenu avec l'inosite isomère des glycoses, ce qui n'a rien d'extraordinaire puisque nous savons aujourd'hui que cette substance appartient à la série aromatique.

Le sucre de canne forme également de l'amidon dans un grand nombre de plantes et il semble qu'il en produit sans se transformer d'abord en sucres réducteurs ; le sucre de lait n'a rien donné, non plus que le raffinose.

La mannite au contraire a donné de l'amidon quand on a fait flotter sur ses dissolutions à 10 ou 20 pour 100 des feuilles des oléacées et notamment de l'olivier, de divers frênes, et de lilas, etc.

Formation d'amidon avec les homologues inférieurs des glycoses. — Ce ne sont pas seulement les sucres renfermant six atomes de carbone qui déterminent dans les feuilles l'apparition de l'amidon.

Au lieu de faire flotter les feuilles, la partie vernissée sur la dissolution des sucres, comme l'ont fait M. J. Bœhm ou M. Meyer, M. Laurent a opéré sur des tiges de pommes de terre étiolées qui avaient épuisé leurs réserves, ces tiges plongeaient par leur base dans les dissolutions nutritives ; les essais ont été très nombreux, ils ont montré que dans la pomme de terre : sept corps peuvent être transformés en amidon : ce sont non seulement la glycérine, mais encore la dextrose, la lévulose, la galactose, la saccharose, la lactose et la maltose.

La glycérine provoque une formation abondante d'amidon dans des feuilles de composées et surtout dans celles de *Cacalia suaveolens ;* après douze jours les feuilles sont aussi riches en amidon que si elles avaient été exposées au soleil une journée entière.

Cette observation est particulièrement intéressante, il faut, en effet, que la glycérine $C^3H^8O^3$ s'oxyde pour fournir l'aldéhyde correspondante, susceptible de polymérie, et forme un composé en C^6 qui donnera lui-même par condensation avec élimination d'eau l'amidon observé.

Nous avons supposé que l'amidon aussi bien que les glycoses provenaient de polymérisation de l'aldhéhyde méthylique et nous avons rappelé les expériences de Lœw et de Fischer qui ont mon-

tré la formation dans le laboratoire des sucres par polymérisation de cet aldéhyde méthylique.

On conçoit que les idées émises dans ce paragraphe recevraient un solide appui d'expériences montrant la formation d'amidon en parlant de l'aldéhyde méthylique; or ces synthèses ont été réalisées récemment; Bokorny a fait voir que les feuilles forment de l'amidon quand on les fait flotter sur une dissolution de méthylol (combinaison de l'alcool méthylique et l'aldéhyde méthylique avec élimination d'eau) (1); enfin Lœw a reconnu que l'amidon se produit encore dans les *Spyrogirés*, quand on les fait développer dans une dissolution d'oxyméthyl sulfonate de soude (combinaison de bisulfate de soude avec l'aldéhyde méthylique, qui en s'hydratant dégage peu à peu l'aldéhyde qu'elle renferme) (2).

La formation de l'amidon à l'aide des glycoses mérite encore de nous arrêter, car elle démontre, dans ce cas, que si l'amidon peut prendre naissance dans la cellule à chlorophylle où a eu lieu la décomposition de l'hydrate d'acide carbonique par une série de synthèses de l'aldéhyde méthylique, si cet amidon mérite très bien le nom d'autochtone qu'on lui donne souvent, il peut également provenir de la condensation de sucres immigrés qui, formés en différents points de l'organisme, se déposent dans la feuille à l'état de réserve transitoire en prenant la forme d'amidon.

Ces réserves s'écoulent au reste rapidement en prenant leurs anciennes formes solubles aussitôt que la plante forme de nouveaux organes ou constituent les réserves définitives des grains, des tubercules, etc.

§ 69. — Celluloses.

Les parois des cellules des végétaux, un grand nombre de leurs tissus, renferment un hydrate de carbone de la forme $(C^6H^{10}O^5)^n$; le nombre n indiquant de combien de molécules, la matière est formée restant encore inconnu; les celluloses ne sont donc pas isomères, mais très probablement polymères de l'amidon; elles paraissent provenir de la combinaison des glycoses; au moins pendant la germination, on la voit apparaître à mesure que ceux-ci sont consommés.

Réciproquement, quand on maintient les celluloses à l'ébulli-

(1) *Ann. agr.*, t. XVII, p. 143.
(2) *Ann. agr.*, t. XV, p. 476.

tion en présence des acides dilués, on les transforme en sucre réducteur droit.

Les travaux de M. Fremy ont établi qu'il existe plusieurs variétés de cellulose : la *cellulose proprement dite* est soluble dans la liqueur cuproammonique (voyez page 39) obtenue en dissolvant de l'oxyde de cuivre dans l'ammoniaque et souvent désignée sous le nom de liqueur de Schweizer; cette cellulose constitue presque la totalité des poils qui entourent la graine du cotonnier employés comme fibre textile.

La *paracellulose*, insoluble dans la liqueur de Schweizer, finit par s'y dissoudre quand elle a été maintenue à l'ébullition pendant quelque temps dans l'acide chlorhydrique, on la rencontre dans le tissu épidermique des feuilles et dans celui des racines.

La *métacellulose* résiste à l'action du réactif de Schweizer, même après ébullition dans l'acide chlorhydrique, cette variété ne se rencontre guère que dans les champignons et les lichens.

On se rappelle qu'il existe, en outre, dans certaines graines une *cellulose de réserve*, susceptible de contribuer à l'alimentation de l'embryon (voy. page 46). Cette cellulose diffère des précédentes, car, traitée par les acides, elle donne non de la dextrine, mais un de ses isomères, la mannose ou séminose.

Sous l'influence du ferment forménique qui passe des intestins des herbivores, dans le fumier, la cellulose est réduite en volumes égaux de formène et d'acide carbonique.

On dose la cellulose dans les tissus végétaux en épuisant sur eux l'action du réactif de Schweizer, on filtre sur du coton de verre; en saturant la liqueur filtrée par l'acide chlorhydrique étendu, la cellulose se précipite; des lavages multipliés sont nécessaires pour la débarrasser des dernières traces, très persistantes, d'oxyde de cuivre.

MATIÈRES TERNAIRES NE PRÉSENTANT PLUS LA COMPOSITION DES HYDRATES DE CARBONE.

§ 70. — Vasculoses.

M. Fremy a découvert dans le bois un principe immédiat qui constitue parfois à lui seul les vaisseaux et les trachées et toujours y prédomine. Cette substance n'a plus la composition d'un hydrate de carbone ; la vasculose du bois présente, en effet, la composition suivante : C. 59,341; H. 5,494; Oxy. 35,165; elle est inattaquable

par les lessives alcalines à la pression ordinaire, mais se dissout au contraire, quand l'attaque a lieu en autoclave; c'est sur cette séparation de cellulose employée comme la vasculose qu'est basée la préparation de la pâte à papier de paille.

La paille renferme, en effet, de la vasculose, mais elle est beaucoup plus attaquable que celle du bois; en effet, en faisant agir à 100° sur la paille des lessives alcalines, on les voit se colorer fortement en brun, et donner par saturation par les acides un précipité brun floconneux dont la composition correspond à celle de la vasculose déshydratée; les produits noirs si abondants dans les jus de fumier proviennent de la vasculose de la paille, dissoute par les alcalis des urines.

Quand on pèse la paille avant l'attaque par les carbonates alcalins, puis le résidu qui persiste quand on a épuisé l'action des lessives et enfin la matière obtenue en saturant les liqueurs alcalines par un acide, pour en précipiter les dérivés vasculiques dissous, on trouve que l'ensemble du résidu et du précipité est bien loin de représenter celui de la matière disparue; c'est qu'en effet la lessive alcaline a dissous, outre la vasculose, la gomme de paille, que les acides ne précipitent pas.

La vasculose déshydratée, associée aux matières albuminoïdes des pailles et des autres tissus végétaux, forme ce mélange désigné sous le nom d'humus qui paraît exercer une action si décisive sur l'alimentation de quelques espèces végétales

§ 71. — Cutose.

Cette matière constitue l'enveloppe extérieure de certaines feuilles, notamment de celles de l'agave, qu'on en sépare aisément en les laissant exposées dans l'eau à l'abri de l'air pendant deux ou trois jours à une température de 30° environ. La cutose se dissout dans la potasse bouillante; elle présente la composition suivante : C. 68,293; H. 8,953; O. 22,754; sa richesse en carbone la rapproche des matières grasses; traitée par l'acide azotique, elle fournit de l'acide subérique.

§ 72. — Matières grasses.

Les matières grasses font sur le papier des taches persistantes qui le rendent translucide; elles sont insolubles dans l'eau et dans

l'alcool, mais se dissolvent au contraire dans l'éther et le sulfure de carbone.

On désigne sous le nom de graisses : les matières grasses solides, et sous le nom d'huiles celles qui sont liquides à la température ordinaire. Les huiles sont dites siccatives quand, exposées à l'action de l'air, elles se combinent à l'oxygène et se solidifient, on les emploie à la peinture ; l'huile de lin est le type des huiles siccatives, les huiles de noix, de chènevis et d'œillette sont également siccatives ; les huiles d'olive, d'amandes, de faine, de cameline, de navette, de colza, ne sont pas siccatives.

On extrait les huiles en broyant les organes végétaux, fruits ou graines, puis en les soumettant à une pression énergique ; les gâteaux qui restent sous les presses : les tourteaux sont employés, soit à l'alimentation du bétail, soit comme engrais ; la région méridionale, où le bétail est rare, en fait une grande consommation.

Constitution. — Les matières grasses sont des éthers de la glycérine ou alcool triatomique. — L'alcool ordinaire est le type de la série des alcools monoatomiques qui se combinent aux acides en perdant une molécule d'eau. Wurtz a découvert la classe des glycols ou alcool diatomique, qui se combinent à deux molécules d'acide avec élimination de deux molécules d'eau. La glycérine $C^3H^8O^3$, enfin, a été caractérisée par M. Berthelot, comme alcool triatomique ; si on combine la glycérine à un acide, elle n'épuise sa force de combinaison qu'après avoir fixé trois molécules d'acide, et engendre des matières désignées par les mots *mono*, *bi*, *tri*, suivant le nombre de molécules d'acides engagées en combinaison, qu'on fait suivre du nom de l'acide terminé en *ine ;* la trioléine est formée par l'union de trois molécules d'acide oléique à la glycérine avec élimination de trois molécules d'eau.

Tous les corps gras sont formés par l'union de la glycérine avec des acides variés.

La tristéarine, abondante dans les graisses animales, renferme l'acide stéarique $C^{18}H^{36}O^2$. La trimargarine, qui est mélangée à la stéarine dans le suif et qui existe également dans le beurre et dans l'huile d'olive, renferme l'acide margarique $C^{17}H^{34}O^2$, tandis que l'acide palmitique $C^{16}H^{32}O^2$, employé comme les précédents à la fabrication des bougies, est contenu dans l'huile de palme.

Les corps gras naturels sont formés par les mélanges en proportions variables de ces trois combinaisons de la glycérine, auxquelles viennent s'ajouter quelques autres principes contenant des acides

volatils dont l'odeur et la saveur modifient profondément le goût des corps gras; c'est ainsi que le beurre est caractérisé par la butyrine; combinaison de la glycérine avec l'acide butyrique; que l'huile de poisson renferme la trivalérine, combinaison de l'acide valérique et de la glycérine.

Origine des matières grasses. — On pourrait supposer que la glycérine provient de la condensation de trois molécules d'aldéhyde méthylique qui fournirait l'aldéhyde glycérique, en effet $3(CH^2O) = C^3H^6O^3$ aldéhyde glycérique, qu'une addition d'hydrogène transformerait en glycérine; mais on n'a pas trouvé l'aldéhyde glycérique dans les végétaux et sa production a été réalisée seulement en enlevant de l'hydrogène à la glycérine (1). L'aldéhyde glycérique est au reste susceptible de fermenter régulièrement et de réduire la liqueur cupropotassique comme un glycose et c'est en partant de cette aldéhyde, que dans ces dernières années, Fisher a réalisé la synthèse du dextrose; elle a donc de grandes analogies avec les sucres réducteurs dont elle est isomérique; cependant les indications physiologiques semblent conduire à l'idée que les matières grasses proviennent plutôt des matières sucrées que d'une condensation directe d'aldéhyde méthylique.

Nous avons indiqué déjà, en effet, que dans la germination des graines oléagineuses, la disparition des matières grasses est accompagnée de l'apparition d'amidon et de sucre réducteur et nous verrons plus loin qu'au moment de la maturation des graines oléagineuses, la formation de l'huile coïncide avec la disparition d'un sucre réducteur.

Ces transformations expliquent le rôle que les huiles sont appelées à jouer dans la vie végétale, les matières grasses sont évidemment des matériaux de réserve au même titre que l'amidon ou le sucre de canne; pour qu'elles puissent être utilisées à certaines époques de la vie du végétal, il faut qu'après avoir pris une forme insoluble qui assure leur conservation, elles redeviennent solubles au moment où elles sont rappelées à l'activité.

Nous avons indiqué page 34 la méthode à suivre pour exécuter le dosage des matières grasses.

(1) Grimaux, *Bull. de la Soc. chim.*, t. XLIX, p. 251, 1888.

§ 73. — Tannins.

On désigne sous le nom de tannins des substances solides, solubles dans l'eau, précipitant les sels de fer au maximum en bleu très foncé ou en vert et qui combinées à la peau la rendent imputrescible en la transformant en cuir.

La classe des tannins est assez nombreuse, quelques-uns de ces produits apparaissent en quantités notables dans les tissus végétaux, notamment dans les écorces, d'autres au contraire se forment seulement dans les tissus attaqués par les piqûres des insectes, tel est notamment le tannin qu'on extrait par l'éther aqueux des noix de galles pulvérisées.

Mode de dosage. — Le nombre des procédés de dosage proposé pour les tannins est extrêmement considérable, ils reposent soit sur l'oxydation de la

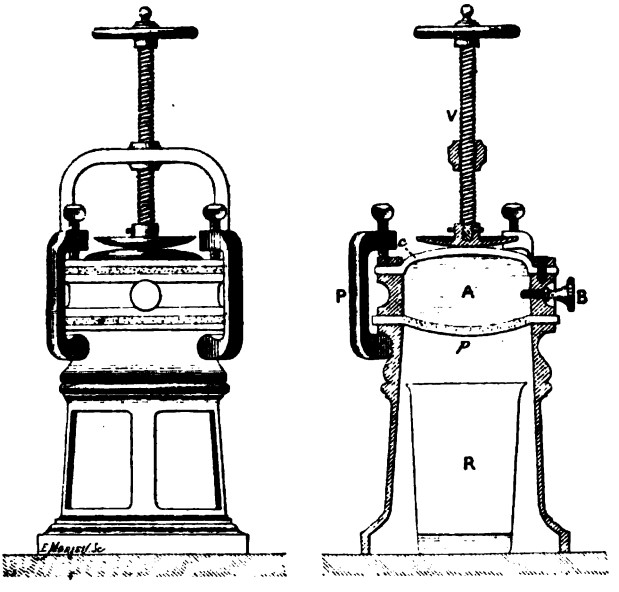


Fig. 33. — Appareils de MM. Muntz et Ramspacher pour le dosage du tannin.

matière au moyen du permanganate de potasse, soit sur sa précipitation par les sels de plomb, soit enfin sur sa combinaison avec une matière animale. Nous nous bornerons à indiquer ces derniers.

Le procédé de MM. Muntz et Ramspacher est mis en pratique de la façon suivante : on échantillonne la matière renfermant le tannin, on la broie et on

en prend pour une écorce de chêne ordinaire : 20 grammes, pour les écorces riches, 10 grammes, pour le dividivi, le kina, etc., 5 grammes, enfin pour les matières renfermant plus de 60 p. 100 de tannin, 3 grammes. On place la poudre au fond d'une allonge effilée munie d'un tampon de coton et posée sur une éprouvette jaugée à 100°C.; on tasse un peu et on verse de l'eau bouillante par petites portions, de manière à recueillir en une heure au moins 100 centimètres cubes de liquide. On mélange le liquide de l'éprouvette et on en prend la densité, qui à l'aide de la table ci-jointe indique les quantités de tannin que renferme la dissolution évaluée en tannin de la noix de galles.

Densité à 15°.	Quantité dissoute dans 100 c.c.
1.0040	1
1.0080	2
1.0120	3
1.0160	4
1.0201	5
1.0242	6
1.0283	7
1.0325	8
1.0367	9
1.0409	10

On fait alors pénétrer la dissolution dans le petit appareil représenté en coupe et en élévation dans les figures ci-jointes :

Cet appareil se compose d'un socle en bronze, d'une couronne et d'un chapeau; ces trois parties sont reliées au moyen de trois petites pinces fixées au socle et destinées à serrer la peau. Le chapeau a la forme d'un étrier, il porte une vis S, terminée par un petit disque de bronze. Quand on abaisse la vis, ce disque vient comprimer le caoutchouc, qui exerce sur le liquide une pression suffisante pour le forcer à traverser la peau. La couronne qui sépare le chapeau du socle porte un petit orifice en forme d'entonnoir par lequel on introduit le liquide et que l'on bouche au moyen d'un petit bouchon à vis B. Le caoutchouc *c* est serré entre la base du chapeau et la couronne.

Quand on a recueilli une soixantaine de centimètres cubes au bout de 20 ou 30 minutes, on arrête l'opération et on prend la densité du liquide écoulé; en retranchant ce nombre du précédent on a la quantité de tannin fixée sur la peau.

Ce procédé n'est qu'approximatif, car d'une part la peau fixe quelques matières colorantes qui n'exercent pas sur elle d'action spéciale, et d'autre part elle abandonne au liquide qui la traverse quelques substances solubles qui augmentent la densité du liquide.

Le choix de la peau n'est pas indifférent, on prend de préférence la peau sortant du travail de rivière dépoilée à l'échauffé; sinon il faut la malaxer dans l'eau pour enlever la chair. Dans le bœuf, on choisit le flanc; dans la vache, le flanc et la tête; dans le veau, la tête seulement. Le morceau étant découpé, on l'exprime à la main et on le met en place.

Richesse des principales variétés de matières tannantes commerciales (R. Wagner) (1).

Galles d'Alep	60 à 77 p. 100.
— de Chine	58 à 77 —
— de Smyrne	30 à 60 —
Écorce de jeune chêne	10.80 —
— ordinaire de chêne	6.25 —
— de pin	7.33 —
— de hêtre	2.00 —
Sumac 1re qualité	16.50 —
— 2e —	13.00 —
Valonia 1re qualité	26.75 —
— 2e —	19.00 —
Bablah	14.50 —
Dividivi	12.00 —
Écorce de sycomore	16.00 —
— d'aulne	36.00 —

Dosages des matières astringentes des vins. — Pour apprécier les matières astringentes des vins, M. Aimé Girard (2) opère sur 100 centimètres cubes en prenant la précaution d'étendre d'eau si le vin est très chargé; on y introduit de 3 à 5 grammes de boyaux tressés dits *rés de violon*, qui n'ont pas encore été passés à l'huile; on prélève un gramme de ces mêmes cordes pour y doser l'eau, puis le reste est mis à tremper dans l'eau pendant quatre ou cinq heures, les cordes se gonflent et deviennent faciles à détordre à la main. Ainsi détordus, les cinq boyaux dont chaque corde de ré est faite sont immergées dans le vin à analyser. A leur contact, ce vin se modifie rapidement; après vingt-quatre heures ou quarante-huit au plus, toute coloration a disparu du liquide et l'addition du perchlorure de fer n'y produit plus aucune réaction.

Lavés à deux ou trois reprises à l'eau distillée, les fragments de cordes tannés et teints sont alors desséchés d'abord à 35°-40° dans un vase plat, puis dans un flacon facile à boucher à l'émeri à 100°, 102°.

La différence de poids entre les cordes ramenées par le calcul à l'état sec avant l'opération et leur poids après la dessiccation finale donne la quantité d'œnotannin (3).

Origine des tannins. — Par l'ensemble de leurs propriétés les tannins appartiennent à la série aromatique; l'un d'eux, le tannin de la noix de galle, a été nettement caractérisé comme un acide digallique et répond à la formule $C^{14}H^{10}O^9$; les autres semblent être des glucosides renfermant un noyau semblable à celui du

(1) *Agenda du chimiste.* Salet.

(2) *C. R.*, t. XCV, p. 185.

(3) Les personnes qui ont à doser les tannins dans des écorces feront sagement de parcourir les recueils de chimie, où ils trouveront un grand nombre de procédés de dosage des tannins, qui dans certains cas spéciaux peuvent convenir mieux que ceux que nous venons d'indiquer.

tannin du chêne ; on était assez embarrassé pour comprendre leur mode de formation, quand M. Maquenne a montré dans son travail sur l'inosite que cette matière isomère des sucres réducteurs donnait aisément des dérivés aromatiques. On peut dès lors concevoir que l'inosite dérivant comme les autres hydrates de carbone de la réaction fondamentale qui se produit dans la cellule à chlorophylle donne, par oxydation ménagée, des composés aromatiques vrais tels que la pyrocathéchine ou le pyrogallol, d'où il est facile de faire dériver l'acide salicylique, l'acide gallique, et enfin, par condensation, les tannins.

L'inosite serait ainsi la matière première d'où découlent tous les principes immédiats qui appartiennent à la série aromatique, au même titre que la glucose ordinaire constitue l'origine de la plupart des hydrates de carbone plus condensés.

On n'a jusqu'à présent aucune idée précise sur le rôle physiologique qu'il convient d'attribuer aux tannins ; en effet, si à la chute des feuilles, le tannin n'est pas résorbé comme les autres hydrates de carbone, si dans les glands en germination il persiste sans être utilisé à la formation des organes nouveaux, ce qui ferait supposer que le tannin ne constitue pas une matière de réserve, d'autres observations, portant sur des arbres à feuillage persistant, seraient de nature, au contraire, à faire considérer les tannins comme des matériaux de réserve, au même titre que l'amidon et l'huile ; on trouverait notamment du tannin pendant l'hiver dans l'olivier, le laurier et le lierre (1).

§ 74. — Acides végétaux.

Un grand nombre de sucs végétaux présentent une réaction acide très accusée, l'industrie extrait des végétaux les acides valérique, palmitique et margarique monobasiques appartenant à la série grasse et les acides polybasiques : oxalique, malique, tartrique et citrique ; les fruits sont le lieu d'élection des acides végétaux les plus importants, toutefois l'acide oxalique se rencontre dans tous les organes des plantes et l'acide valérique dans les racines. Dans ce paragraphe, nous indiquons d'une façon générale comment les acides peuvent être dosés dans les organes végétaux, comment ils y prennent naissance, et nous étudions ensuite sommairement ceux qui présentent le plus d'intérêt.

(1) *Ann. agr.*, t. XIV, p. 525.

Dosage des acides libres. — L'organe végétal dans lequel on veut procéder au dosage est pesé frais, réduit en pulpe et trituré dans un mortier avec de l'eau qu'on décante et qu'on renouvelle jusqu'à ce qu'elle n'ait plus de réaction acide; si le volume du liquide n'est pas trop grand, on procède directement au dosage à l'aide d'une liqueur alcaline titrée; souvent la couleur du liquide vire aussitôt que la saturation a lieu, et cette indication permet de n'employer le papier de curcuma que tout à fait à la fin du dosage. On calcule l'acidité en acide sulfurique, qui a servi à doser la soude; si on veut ensuite pousser à l'évaluation en acide tartrique ou malique, on se rappellera que $SO^4H^2 = 98$ correspond à $C^4H^6O^6 = 150$ acide tartrique, etc.

Si le liquide était chargé d'acide carbonique, ce qui rend le dosage incertain, il est bon de soumettre le liquide à l'action du vide ou d'y faire passer un courant d'air avant d'y verser la liqueur alcaline.

Formation des acides dans les tissus végétaux. — Ces acides sont particulièrement abondants dans les plantes grasses telles que les *crassulacées*; M. Mayer a reconnu qu'ils se forment en beaucoup plus grande quantité dans les feuilles maintenues à l'obscurité que dans celles qui avaient été insolées (1). La différence d'acidité que présentent les feuilles le soir et le matin a été clairement démontrée par M. de Vries (2). Des feuilles ou des groupes de feuilles ont été divisés en deux parties, une des moitiés est analysée le soir même de la cueillette, tandis que l'autre moitié est abandonnée à elle-même jusqu'au matin pour être seulement, à ce moment, soumise à l'analyse. Les feuilles préalablement tuées par une élévation de température de 100° ont été écrasées et l'acidité du jus a été déterminée par une liqueur titrée de potasse; en comparant les nombres obtenus dans ces deux dosages, on a trouvé que 10 grammes de feuilles fraîches avaient formé en une nuit 55 milligrammes dans l'*Escheveria metallica*, et 9 seulement dans la *Stapelia deflexa*, les chiffres fournis par les autres espèces sont intermédiaires entre les deux précédents.

Pour voir apparaître les acides pendant la nuit, il faut que la plante en expérience ait été insolée pendant le jour, et qu'en outre elle ne soit pas soumise pendant la nuit suivante à une température trop élevée. Les acides formés pendant la nuit disparaissent pendant le jour quand la plante est éclairée. L'intervention de la lumière dans la destruction des acides, celle de l'obscurité dans leur formation a été de nouveau étudiée par M. Kraus (3) qui non seulement a pu faire accumuler les acides dans la plante en l'obscurcis-

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 183.
(2) Id., p. 229.
(3) Id., p. 238.

sant au milieu de la journée, mais en outre a provoqué cette accumulation sur une petite partie d'une feuille protégée des rayons lumineux par un écran.

La formation des acides est liée étroitement à la respiration, quand les plantes séjournent dans une atmosphère d'acide carbonique ou d'hydrogène, elles ne forment pas d'acides pendant la nuit, et pendant le jour les acides déjà formés ne disparaissent pas.

M. Warburg a essayé d'interpréter tous les faits précédents qu'il a soumis à de nouvelles études (1) et il conclut que les acides se forment en quantité d'autant plus grande que l'élaboration des principes chlorophylliens a été plus abondante et en outre que l'accès de l'oxygène dans les tissus a été plus difficile. Dans les plantes grasses en effet, où les acides sont abondants, la circulation des gaz est moins facile et moins rapide que dans une feuille à parenchyme mince : l'oxygène y produit ces actions ménagées qu'on observe quand on attaque des hydrates de carbone par de l'acide azotique dilué, l'oxydation dans ce cas ne réduit pas les hydrates de carbone en acide carbonique et en eau, mais donne des produits intermédiaires : l'acide tartrique, l'acide oxalique, etc,; si cependant cette oxydation se continue, on arrive jusqu'aux produits saturés d'oxygène, acide carbonique et eau; c'est ce qui a lieu pendant le jour, où l'action se complète, les matières neutres, déjà oxydées mais restées à l'état d'acides, se brûlent complètement et disparaissent sous forme d'eau et d'acide carbonique.

Pendant la première partie de l'opération, la quantité d'acide carbonique formée pendant la respiration est inférieure à la quantité d'oxygène absorbée, puisqu'une partie de cet oxygène reste fixée sur la matière organique; on trouve que $\frac{CO^2}{O} < 1$, c'est ce que nous avons observé M. Moissan et moi en 1873, et démontré plus rigoureusement dans le travail publié en collaboration avec M. Maquenne, où nous avons reconnu en outre qu'à une température élevée ce rapport devenait plus grand que l'unité (2). Il est possible, en effet, que les effets attribués dans les expériences précédentes à l'action de la lumière soient dus au moins partiellement à l'élévation de la température qui accompagne forcément l'insolation.

Nous avons reconnu M. Maquenne et moi, ainsi qu'il vient d'être

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 272.
(2) *Ann. agron.*, t. XII, p. 145; et p. 211 de ce volume.

dit, que le rapport $\frac{CO^2}{O}$ croît avec l'élévation de la température, on conçoit donc que pendant une nuit fraîche l'oxygène ne brûle qu'incomplètement les hydrates de carbone accumulés pendant le jour par l'ativité chlorophyllienne et que des acides apparaissent, puis, qu'au contraire, pendant la journée suivante, les radiations tombant sur les feuilles déterminent une activité respiratoire plus grande et que l'oxygène agisse sur les acides formés pour les réduire complètement en acide carbonique et en eau, ou même pour provoquer une décomposition interne avec dégagement d'acide carbonique dont les deux éléments seraient fournis par la matière même en voie d'altération.

Acide oxalique. — Corps solide blanc cristallin, soluble dans l'eau et dans l'alcool, donnant avec les sels de chaux un précipité blanc soluble dans les acides énergiques : chlorhydrique et azotique, mais insoluble dans l'acide acétique. M. Berthelot a montré que cette réaction qui suffit habituellement à caractériser l'acide oxalique n'est pas absolument sûre : l'acide racémique présentant les mêmes propriétés; si on a des doutes, il convient d'ajouter au liquide d'essai du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'acide borique qui empêchent la précipitation des tartrates ou citrates en liqueur acétique; on évite, en opérant ainsi, de conclure à la présence d'acide oxalique, là où il n'existe pas (1).

L'acide oxalique $C^2H^2O^4$ est bibasique, il donne avec la potasse trois sels différents : un oxalate neutre : $C^2K^2O^4$, un oxalate acide : C^2KHO^4 et un oxalate à excès d'acide, désigné dans l'ancienne nomenclature sous le nom de quadroxalate : $C^2KHO^4,C^2H^2O^4$.

L'acide oxalique et les oxalates sont vénéneux.

Tandis que les oxalates de potasse, très répandus dans les végétaux, sont solubles, les oxalates de chaux sont au contraire insolubles, on les trouve cependant dans les plantes à l'état cristallin, soit sous forme de raphides, soit sous celle d'octaèdres très aplatis dits en enveloppes de lettre, soit en prismes orthorhombiques ou clinorhombiques.

Dosage. — MM. Berthelot et Andre ont indiqué récemment une méthode très précise et très élégante de doser l'acide oxalique dans les végétaux; les organes frais sont pesés, broyés dans un mortier, versés dans une capsule et additionnés d'une quantité d'eau suffisante qu'on porte lentement à 100° ; on

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. X, p. 293.

laisse macérer vingt-quatre heures, puis on décante et l'on filtre, on traite les débris par une nouvelle quantité d'eau chaude, on décante et l'on filtre encore, enfin on exprime dans un linge; les liquides clairs sont additionnés d'acide chlorhydrique étendu, portés à l'ébullition et additionnés de chlorure de calcium et d'ammoniaque; on peut recueillir l'oxalate de chaux, le calciner au rouge sombre et déduire du poids du carbonate de chaux obtenu celui de l'acide oxalique soluble qui était dans la plante.

Quant à l'acide oxalique combiné à la chaux, MM. Berthelot et André l'extraient en prélevant une nouvelle proportion, la broient comme la précédente, mais traitent immédiatement par de l'eau aiguisée d'acide chlorhydrique; après filtration, l'addition de l'ammoniaque détermine un précipité d'oxalate de chaux, mélangé aux autres sels de chaux insolubles dans une liqueur ammoniacale; pour se débarrasser de ces sels on introduit dans le liquide 50 centimètres cubes d'une dissolution concentrée d'acide borique; la présence simultanée dans le liquide de cet acide et du chlorhydrate d'ammoniaque empêche la précipitation des tartrates et des racémates, et en additionnant enfin la liqueur d'acide acétique et d'acétate de chaux, on précipite l'acide oxalique après quelques heures de digestion à 100°, on filtre, mais le précipité est impur, on le redissout dans l'acide chlorhydrique et on le précipite de nouveau par l'ammoniaque.

Au lieu de calciner ce précipité pour déduire du poids du carbonate de chaux trouvé l'acide oxalique précipité, MM. Berthelot et André lavent plusieurs fois ce précipité par décantation, le décomposent par l'acide sulfurique et recueillent les gaz dégagés dans une éprouvette à mercure renfermant de la potasse pour absorber l'acide carbonique; on mesure l'oxyde de carbone et on s'assure de sa pureté en l'absorbant par le protochlorure de cuivre (1).

Origine. — On peut concevoir que dans la plante l'acide oxalique provienne de l'oxydation des hydrates de carbone comme il en dérive dans le laboratoire quand on attaque les sucres ou l'amidon par l'acide azotique; cette réaction n'est pas la seule cependant qui puisse donner naissance à de l'acide oxalique; on le voit apparaître partout où les albuminoïdes se produisent; or, il est probable que ceux-ci proviennent de la réaction des corps amidés, asparagine, leucine, etc., sur les hydrates de carbone; si, en effet, on compare la composition centésimale des albuminoïdes à celle de l'asparagine, on voit que la transformation de cette dernière exige, pour que tout l'azote soit employé, une addition de carbone et d'hydrogène, tandis que de l'oxygène devient libre, en se portant sur des hydrates de carbone cet oxygène peut les transformer en acide oxalique (2). MM. Berthelot et André ont, en

(1) La formation de l'acide oxalique dans diverses plantes à mesure des progrès de leur développement a été étudiée par MM. Berthelot et André dans un mémoire qui succède au précédent (même recueil, même volume, p. 308).

(2) *Ann. agron.*, t. XV, p. 448.

outre, proposé une autre interprétation, d'après laquelle l'élaboration de l'acide oxalique serait encore corrélative de celle des albuminoïdes (1).

Acide lactique $C^3H^6O^3$. — Bien que cet acide caractérise le lait aigri et que par suite il ne semble pas devoir être placé parmi les acides végétaux, il se produit dans la fermentation du maïs ensilé et c'est là la raison qui nous conduit à le décrire rapidement. Il est facile de l'extraire par pression du maïs ensilé qui a subi la fermentation acide ; on concentre, on filtre pour séparer les matières albuminoïdes précipitées et on traite par du carbonate de zinc, il se produit ainsi du lactate de zinc, qui cristallise aisément. (Voy. 4e partie le chapitre *Plantes fourragères.*) L'acide lactique résulte sans doute du dédoublement d'un molécule de glycose, suivant l'équation :

$$C^6H^{12}O^6 = 2(C^3H^6O^3)$$

M. Schützenberger a, en effet, montré qu'il se forme une grande quantité d'acide lactique lorsqu'on chauffe la glycose ordinaire avec un excès d'hydrate de baryte.

Acide malique $C^4H^6O^5$. — On rencontre l'acide malique en abondance dans le règne végétal, il est contenu dans les différentes parties des plantes soit à l'état libre, soit en combinaison avec les bases : potasse, chaux et magnésie. On a constaté la présence de l'acide malique dans les pommes vertes acides, dans les baies de l'épine-vinette, du sorbier, du sureau, dans les groseilles à maquereau, les cerises, les fraises, les framboises, les coings, dans les racines de guimauve, d'angélique, de bryone, de réglisse, de garance, dans les carottes et les pommes de terre ; dans les feuilles et les tiges d'aconit, de belladone, de chanvre, de grande chélidoine, de laitue, de tabac, de pavot, de valériane, de mélilot ; dans les fleurs de camomille, de sureau, de bouillon-blanc ; dans l'ananas et le raisin, dans les graines de cumin, de persil, d'anis, de lin, de poivre, etc.

On l'extrait habituellement des baies du sorbier des oiseleurs, on les exprime, le suc est mélangé avec de la chaux éteinte, employée de façon que la liqueur reste légèrement acide, on porte à l'ébullition, on recueille le malate de chaux précipité et on le décompose par l'acide sulfurique. L'acide malique des végétaux est lévogyre, la variété artificielle est inactive.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. X, p. 350.

Le malate de chaux produit en neutralisant de l'acide malique par de l'eau de chaux cristallise en grosses lames brillantes, la dissolution de ce sel portée à l'ébullition donne un précipité blanc grenu presque insoluble.

Le malate de plomb qui apparaît sous forme de précipité quand on précipite un malate soluble par l'acétate de plomb se dissout dans un excès d'acétate de plomb.

Acides tartriques $C^4H^6O^6$. — On distingue quatre acides tartriques différents; l'un exerce à droite la rotation du plan de la lumière polarisée, il est dit acide tartrique droit, par opposition à l'acide tartrique gauche qui exerce une rotation semblable au précédent, mais de sens opposé; combinés l'un à l'autre, ces deux acides forment l'acide inactif par compensation ou acide racémique, il existe enfin un acide tartrique non dédoublable, inactif par constitution.

L'acide tartrique droit est très répandu dans le règne végétal; sa présence à l'état libre ou de combinaison avec la potasse et la chaux a été constatée dans le suc de la vigne au printemps, dans les raisins, dans les tamarins, les pelargoniums, les baies de sorbier avant la maturité, les baies de *Rhus typhinum* et *Rhus glabrum*, les baies de *Vitis sylvestris*, les baies de *Mahonia aquifolia*, les graines de *Evonymus europæus*, les feuilles de la grande chélidoine, les feuilles de l'agave, l'oseille, les cornichons, les mûres, les ananas, le poivre noir, la racine de garance, les pommes de terre, les topinambours.

Les hydrates de carbone oxydés par l'acide azotique donnent tantôt de l'acide tartrique droit, tantôt de l'acide tartrique gauche, tantôt un mélange des deux.

	100 p. du mélange acide contiennent :	
	Acide tartrique droit.	Acide tartrique gauche.
Sucre de lait	55.4	44.6
Gomme	63.0	37.0
Sucre de canne	59.7	40.3
Amidon	100.0	»
Glucose (dextrose)	100.0	»
Levulose	»	100.0
Acide saccharique	72.6	27.1
Acide mucique	»	100.0

L'acide tartrique s'obtient aisément du bitartrate de potasse, en saturant d'abord par le carbonate de chaux qui transforme la moitié de l'acide tartrique en tartrate de chaux peu soluble et en tar-

trate neutre de potasse qui reste en dissolution, et qu'on amène à l'état de tartrate de chaux par le chlorure de calcium ; on sépare la chaux par l'acide sulfurique, on concentre les liqueurs filtrées et on fait cristalliser l'acide tartrique.

Le tartrate acide de potassium $C^4H^5KO^6$, vulgairement désigné sous le nom de crème de tartre, forme la majeure partie du tartre brut qui se trouve dans la lie du vin ; c'est un sel blanc, très peu soluble dans l'eau froide, mais sensiblement plus soluble dans l'eau chaude, on profite de cette différence de solubilité pour purifier le tartre brut par cristallisation.

Le tartrate neutre de potassium $C^4H^4O^6K^2$, $1/2H^2O$ est beaucoup plus soluble dans l'eau, on l'obtient aisément en traitant à l'ébullition la crème de tartre par le carbonate de potasse. La combinaison de l'acide tartrique avec la potasse et l'oxyde d'antimoine est désignée sous le nom d'émétique.

Le dosage de l'acide tartrique s'exécute assez souvent dans les laboratoires de chimie agricole, et nous devons indiquer comment on apprécie les proportions de cet acide que renferment les tartres commerciaux.

Dosage de l'acide tartrique à l'état de bitartrate de potasse. — La solution claire est sursaturée de carbonate de potasse et maintenue à l'ébullition pour chasser l'ammoniaque et précipiter les métaux qu'elle peut renfermer; après filtration s'il y a lieu et refroidissement, on ajoute de l'acide acétique tant qu'il se produit un dépôt et enfin de l'alcool; après vingt-quatre heures de repos le précipité est recueilli sur un filtre séché et pesé. Comme l'alcool peut précipiter dans certains cas des sels (sulfate, chlorure, etc. de potassium), le bitartrate de potassium recueilli sur un filtre est redissous dans l'eau bouillante et titré par une dissolution de soude ou de potasse; on passe facilement par le calcul de la quantité de base employée à l'acide tartrique réel que renfermait la crème de tartre impure précipitée.

Dosage approximatif des tartres bruts. — On trouve dans le commerce sous le nom de tartres bruts : 1° les tartres rouges ou blancs, tels qu'ils sont extraits des tonneaux qui contenaient le vin rouge ou blanc; 2° des cristaux d'alambics, provenant de la fabrication de l'eau-de-vie et qui ont été recueillis dans le fond des alambics qui servent à la distillation ; 3° des cristaux de lies provenant du traitement des lies par l'eau bouillante.

Pour en connaître la richesse, on pèse 10 grammes d'un échantillon pulvérisé et qui a été pris de manière à représenter le tas de tartre dont on désire connaître le titre. Les 10 grammes sont introduits dans une capsule renfermant 1 litre d'eau bouillante ; on fait bouillir le mélange pendant cinq minutes, et on titre avec une dissolution de soude caustique en se servant de papier de tournesol pour apprécier le moment de la saturation.

Lorsque les tartres sont mélangés de lie, ce procédé est défectueux, le

tannin, les composés pectiques s'emparant d'une partie de la base, et dans ce cas il vaut mieux incinérer une certaine quantité pesée de tartre et titrer le carbonate de potassium formé. Par le calcul on détermine la quantité de bitartrate qui a produit le carbonate.

Les lies provenant des vins plâtrés renferment toujours du tartrate de calcium; pour l'apprécier, on s'assure que la matière ne renferme pas de carbonate de chaux et on calcine; on procède au dosage des alcalis dans les cendres à l'aide d'une liqueur acide, on détermine non seulement le carbonate de potasse obtenu par dissolution, mais aussi le carbonate de chaux qui reste dans la partie insoluble des cendres.

Voici d'après M. Warington la composition d'un certain nombre de lies.

Origine des échantillons.	Acide tartrique sous la forme : Bitartrate de potassium.	Tartrate de calcium.	Acide tartrique total.
Lies d'Italie (33 échantillons).....	24.1	6.1	30.2
— grecques (14 échantillons).....	19.9	11.8	31.7
— françaises (9 échantillons).....	17.3	6.0	23.3
— — (30 échantillons).....	5.3	20.5	25.8
— d'Espagne jaunes (59 éch.).....	8.7	18.2	26.9
— — rouges (17 éch.).....	8.8	17.4	26.2

Origine des acides malique et tartrique. — Par leur composition chimique ces deux corps se rattachent à l'acide succinique $C^4H^6O^4$ dont ils dérivent directement par addition d'oxygène. Or, l'acide succinique lui-même touche à l'asparagine dont la présence est en quelque sorte universelle dans les végétaux. Il est donc vraisemblable que les deux acides que nous venons de décrire prennent leur origine dans une transformation de l'asparagine dont nous avons indiqué déjà les étroites relations avec des albuminoïdes végétaux. Il n'est peut-être pas inutile de faire observer en outre que l'acide tartrique est l'acide correspondant à l'érythrite, au même titre que l'acide oxalique est l'acide qui correspond au glycol.

Acide citrique $C^6H^8O^7$. — On extrait l'acide citrique du jus de citron qui en renferme des quantités notables; la plupart des fruits acides, les groseilles, les groseilles à maquereau, les framboises, les fraises, les cédrats, les baies d'airelle et de sorbier, les tomates, etc., en contiennent aussi soit à l'état libre, soit plus rarement à l'état de sel de calcium ou de potassium.

L'acide citrique cristallise aisément, il est tribasique, il dissout le fer et le zinc, réduit le chlorure d'or et donne avec un excès d'eau de chaux un sel qui se précipite à chaud et se redissout à froid.

L'acide citrique est utilisé dans la préparation de la liqueur dite citro-magnésienne, renfermant un sel de magnésie qui permet la

précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien dans un liquide contenant, outre l'acide phosphorique, de la chaux, de l'alumine et de l'oxyde de fer, bases que l'acide citrique maintient en dissolution même en présence d'un excès d'ammoniaque.

La séparation de l'acide citrique et de l'acide malique des matières végétales dans lesquelles ils sont contenus est assez laborieuse ; M. Schlœsing a donné une description très complète et très précise de la méthode à employer, dans l'article *Tabac* du Dictionnaire de chimie de Wurtz ; nous y renvoyons le lecteur.

MM. Grimaux et Adam ont obtenu l'acide citrique par synthèse, mais la méthode employée ne permet pas de prévoir le mode de formation de l'acide citrique dans les végétaux.

§ 75. — Acides volatils.

Les acides volatils sont moins répandus dans les végétaux que les acides fixes que nous venons de décrire, on en trouve cependant quelques-uns dont nous indiquerons rapidement les propriétés.

Acide cyanhydrique. — Cet acide CAzH est un des corps les plus vénéneux qu'on connaisse ; il se produit pendant la décomposition de l'amygdaline et c'est probablement pendant cette réaction qu'il est mis en liberté ; on le trouve en petites quantités dans les feuilles du laurier-cerise, du saule à feuilles de pêcher, dans les amandes amères, et dans les amandes d'un grand nombre de fruits à noyaux, notamment dans celles des merisiers, d'où il passe dans le kirsch provenant de la fermentation et de la distillation des merises.

L'acide cyanhydrique se rencontre également dans la racine du Jatropha Manihot ou manioc, qui donne la fécule employée sous le nom de tapioca. Cet acide étant très soluble dans l'eau, et très volatil, on en débarrasse la fécule soit en la lavant, soit en l'exposant à la chaleur.

Acide formique CH^2O^2. — Cet acide, liquide à la température ordinaire, volatil et corrosif, a été trouvé d'abord dans les insectes, fourmis rouges et poils des chenilles processionnaires, mais on l'a constaté également dans le suc de la saponaire, dans les tamarins ; il paraît prendre naissance dans l'oxydation lente de l'essence de térébenthine.

Acide acétique $C^2H^4O^2$. — Liquide, volatil, corrosif quand il est concentré, l'acide acétique se rencontre combiné à la potasse et à la

chaux dans les sucs d'un grand nombre de végétaux. Il se produit dans les fruits. En l'unissant à l'alcool amylique on prépare un éther qui présente exactement l'odeur de la poire.

Pour le caractériser dans un tissu végétal, on devra faire un extrait, concentrer à l'ébullition, filtrer, précipiter les autres acides avec de l'eau de baryte, filtrer et distiller en présence d'un petit excès d'acide sulfurique. Le produit distillé présente une réaction nettement acide, on pourra conclure qu'il renferme soit de l'acide acétique, soit de l'acide formique ; en chauffant avec de l'oxyde de mercure ou un sel d'argent, on obtiendra la réduction du métal si le mélange renferme de l'acide formique.

Acide butyrique $C^4H^8O^2$. — Cet acide est caractérisé par son odeur de beurre rance ; il prend naissance dans un grand nombre de fermentations ; et on le trouve dans les maïs ensilés, mélangé à de l'acide acétique, dans les pulpes de betterave.

La terre arable renferme un ferment spécial qui détermine très aisément la fermentation butyrique (1), de telle sorte que cette fermentation apparaît parfois dans tous les produits végétaux renfermant des matières sucrées, même dans les vins préparés avec des raisins souillés de terre (2).

L'acide butyrique existe tout formé dans les fruits du *ginko biloba*. Combiné à l'alcool ordinaire, il donne un éther dont l'odeur caractérise les fraises et les ananas.

Acide valérique $C^5H^{10}O^2$. — Cet acide se rencontre dans la racine d'angélique, dans la racine de valériane, dans les baies mûres et dans l'écorce du *Viburnum opulus*. Combiné à l'alcool amylique il donne un éther dont l'odeur rappelle celle des pommes de rainette.

§ 76. — Résines.

On désigne sous ce nom des matières exclusivement formées de carbone et d'hydrogène ou très faiblement oxydées ; leurs emplois sont nombreux, et tendent sans cesse à s'accroître, la propagation des arbres qui fournissent quelques-unes d'entre elles est aujourd'hui une des préoccupations des administrateurs des colonies tropicales, et nous devons passer en revue les plus importants de ces produits.

Caoutchouc. — Un grand nombre de plantes des régions tropicales, notamment le *Ficus elastica*, qui appartient à la famille des

(1) Dehérain et Maquenne, *Ann. agron.*, t. X, p. 5.
(2) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 95.

Morées, laissent écouler par les incisions pratiquées à leur tronc un suc laiteux qui a été analysé par Faraday : il y a trouvé un tiers environ du poids total, formé par une matière susceptible de se coaguler par la chaleur, molle, élastique, qui correspond à la formule $n(C^5H^7)$.

Cette substance a été envoyée pour la première fois en Europe par l'académicien français La Condamine, en 1736 ; pendant longtemps ses emplois furent très limités, puis, peu à peu, d'habiles industriels surent la plier à des usages de plus en plus nombreux, surtout quand ils eurent réussi à combiner le caoutchouc avec le soufre et à en faire le caoutchouc vulcanisé.

Le caoutchouc provient parfois des Indes, il est dans ce cas fourni par le *Siphonia cautscha*, l'*Iatropha elastica*, le *Ficus elastica;* dans le bassin des Amazones, c'est surtout l'Hevæa qui le produit; il en vient également du Gabon et de Madagascar.

Dans la province du Para, au Brésil, se trouvent d'immenses forêts d'Hevæa; tous les ans à l'époque de la récolte des bandes d'émigrants, venus par milliers, s'y livrent à l'extraction du caoutchouc. Armé d'une hachette, le *seringario* (de *seringa*, caoutchouc), frappe les arbres qu'il a choisis : de cette incision s'écoule immédiatement le suc blanc, laiteux, qui est recueilli dans un vase fixé au moyen de terre glaise au-dessous de l'incision ; le liquide provenant de plusieurs vases est réuni dans un baquet, puis agité avec une batte de bois qu'on expose pendant quelques instants à l'action d'une flamme fuligineuse qui détermine rapidement la coagulation du suc; la batte est trempée de nouveau dans le liquide, une couche de suc laiteux s'y applique, on la coagule en l'exposant sous l'action du feu, et en continuant ainsi on obtient un enduit assez épais qui est fendu sur l'un des côtés pour le séparer du moule.

D'autres fois, les Indiens coagulent le caoutchouc sur des moules de terre glaise, dont ils se débarrassent, quand la masse a obtenu une épaisseur suffisante, en les délayant dans l'eau.

Ces procédés sont extrêmement grossiers, on continue à les employer par l'impossibilité où l'on s'est trouvé d'envoyer en Europe le suc de caoutchouc non coagulé.

Le mode de formation du caoutchouc et des autres résines est encore fort obscur.

Il est à remarquer cependant que M. Aimé Girard a découvert dans les sucs des arbres à caoutchouc du Gabon et de Borneo des sucres, qui ont été ramenés par M. Maquenne à diverses variétés

d'inosite; or ce sucre donne des dérivés appartenant à la série aromatique, c'est-à-dire à des corps comme la benzine, la styriline qui dérivent aisément des résines; il est donc vraisemblable que les résines dérivent des matières sucrées par réduction.

Gutta-percha. — La gutta-percha a des propriétés voisines de celles du caoutchouc; cependant, si à la température de 100° elle est molle, élastique, extrêmement plastique, elle durcit par le refroidissement et conserve alors tous les détails des objets sur lesquels elle a été appliquée; elle convient donc parfaitement pour le moulage, et est employée en quantité notable dans l'industrie de la galvanoplastie; la construction des câbles électriques sous-marins, dans lesquels les conducteurs de cuivre sont noyés dans de la gutta-percha protégée elle-même par une armature de fer, en consomme des quantités encore plus considérables, aussi la gutta est-elle très recherchée; malheureusement les arbres qui la fournissent sont peu répandus, ils ne se rencontrent que dans l'archipel hollandais de Java, Sumatra et Borneo. L'arbre qui paraît en fournir davantage est l'*Isonandra percha*, il atteint fréquemment une hauteur de 20 mètres et un diamètre de 1 mètre, son bois est spongieux et tendre; il est traversé par des canaux remplis de gomme et formant des lignes d'un noir d'ébène.

Le mode d'extraction de cette gomme est tout à fait barbare: on abat l'arbre, et on l'incline pour faciliter l'écoulement du liquide qu'on recueille dans les calebasses; les indigènes soumettent le liquide à l'ébullition, de façon à séparer l'eau de la gomme qui s'y trouve en émulsion; un arbre fournit en moyenne 6 kilogrammes de gutta.

On conçoit que si ce mode d'extraction était longtemps continué, la source de gutta serait tarie; on a réussi à introduire le mode d'extraction usité pour le caoutchouc dans lequel, au lieu d'abattre les arbres, on se borne à inciser l'écorce pour faire couler le liquide; aussitôt qu'il commence à se coaguler on le pétrit entre les mains pour en séparer l'eau.

Le produit importé en Europe renferme plusieurs principes, un carbure d'hydrogène de la formule $C^{20}H^{32}$ mélangé à deux produits oxydés $C^{20}H^{32}O$ et $C^{20}H^{32}O^2$.

L'administration de la Cochinchine française se préoccupe aujourd'hui d'introduire sur son territoire les arbres à gutta qui paraissent pouvoir prospérer dans la région méridionale de notre colonie.

Térébenthines. — On désigne sous ce nom les mélanges d'es-

sence de térébenthine $C^{10}H^{16}$ avec des composés variés qui s'écoulent le long du tronc des arbres résineux.

Les térébenthines provenant d'arbres d'espèces différentes sont analogues sans être identiques.

Térébenthine de Bordeaux. — Elle est recueillie dans les Landes, du *Pinus maritima*, arbre qui résiste bien aux froids habituels de notre pays, mais qui a péri cependant en Sologne, pendant des hivers rigoureux comme celui de 1879-80, où la température est restée plusieurs jours au-dessous de — 20°.

On pratique le *gemmage* de la façon suivante : Du 20 janvier au 10 février, on enlève l'écorce des arbres qui n'ont pas moins de vingt-cinq ans, du côté de l'est et du sud, de manière cependant à ne pas attaquer le vif, sur, à peu près, le quart de la circonférence ; du 25 mars au 1er mai, on procède à une nouvelle incision avec un instrument dont le tranchant a la forme d'une gouge; on enlève au ras de terre, dans la partie récemment écorcée, un copeau de $0^m,11$ de long sur $0^m,10$ à $0^m,012$ d'épaisseur, de telle sorte que le vif du tronc se trouve attaqué. La sécrétion ne tarde pas à apparaître; la résine coule le long de l'arbre, on la recueille dans de petits pots fixés au bas de la blessure.

On renouvelle l'incision tous les dix jours, l'écoulement dure jusqu'au commencement d'octobre. Un résinier suffit pour le gemmage de 5,000 pins.

Quand on n'entame le tronc que d'un seul côté à la fois, l'arbre peut durer de soixante à quatre-vingts ans; quand l'arbre est condamné, on entame des quatre côtés à la fois, il est *gemmé à mort* et périt en trois ou quatre ans.

La résine qui s'écoule dans les pots est dite *gemmée*, celle qui est restée exposée à l'air pendant quelque temps sur les blessures ne peut être détachée qu'en râclant les surfaces avec un instrument en fer; elle est dite galipot, elle est traitée à part.

Un hectare de pins donne en moyenne cinq quintaux de gemme, deux de galipot.

La gemme molle ou térébenthine brute est purifiée par une fusion et une filtration au travers d'un lit de paille ; quand l'opération se fait par une simple exposition au soleil on obtient la térébenthine au soleil.

La térébenthine renferme environ le quart de son poids d'essence qu'on sépare par la distillation. Le résidu de l'opération s'appelle colophane ou brai sec. Si au lieu de le laisser se concréter par le

refroidissement on le brasse vivement avec de l'eau, on lui fait perdre sa transparence et on prépare la résine jaune.

En soumettant à une calcination ménagée dans un fourneau sans courant d'air allumé à la partie supérieure: les résidus, brins de paille imprégnés de résine, de bois, etc., on fait exsuder la résine qu'ils renferment, on la dirige dans des bassins remplis d'eau et on obtient deux matières : l'*huile de poix* surnage une matière noire qui desséchée devient la *poix noire*.

§ 77. — Essences.

On désigne sous ce nom des produits volatils, insolubles ou peu solubles dans l'eau, beaucoup plus solubles dans l'alcool, dans l'éther et dans les huiles, recherchés pour le parfum qu'ils exhalent (essences de rose, de jasmin, d'orange, de citron, etc.), ou pour la préparation des peintures et des vernis (essence de térébenthine).

Les essences présentent des compositions très différentes: tandis que les unes sont des carbures d'hydrogène (essence de térébenthine, de citron, d'orange), les autres sont oxygénées (essences de cumin, de cannelle, de rue, de girofle), d'autres enfin sont sulfurées (essence de moutarde).

Les essences existent presque toujours toutes formées dans les végétaux, on les extrait :

1° Par distillation;

2° Par dissolution à froid ou à chaud dans des huiles fixes, d'où on les sépare ensuite par l'action de l'alcool.

L'extraction des essences a pour la France un grand intérêt ; non seulement les forêts de pins des Landes fournissent, ainsi qu'il vient d'être dit, des quantités notables d'essence de térébenthine, mais en outre nos départements méridionaux et particulièrement l'arrondissement de Grasse, l'Algérie se livrent avec grand succès à la culture des plantes à parfum (1). Il est donc utile de savoir doser la quantité d'essence contenue dans un liquide donné.

Dosages des essences. — Levallois a proposé une méthode ingénieuse, il distille l'eau légèrement chargée d'essence, dans un ballon lié à un tube incliné à reflux muni à son extrémité d'un petit serpentin descendant à réfrigé-

(1) Voyez *Ann. agron.*, t. II et III, les mémoires de M. Pouriau et *Dict. de chimie* de Wurtz, l'article Essences.

rant; on se sert encore avec avantage du serpentin ascendant (fig. 13); bien que l'essence soit moins volatile que l'eau, elle est entraînée par la vapeur et passe dans les premiers centimètres cubes recueillis.

Le liquide aqueux, qui renferme l'essence concentrée sous un petit volume, est titré au moyen d'une solution de brome étendue; cette solution se décolore tant que le brome trouve de l'essence à attaquer; on verse donc de l'eau bromée jusqu'au moment où l'on constate une couleur jaune persistante ; il convient de diminuer la quantité d'eau de brome employée, de quelques dixièmes de centimètre cube, correspondant à la quantité nécessaire pour obtenir la coloration jaune d'un volume de liquide égal à celui de l'essai.

On titre au reste l'eau de brome, avec l'essence qu'il s'agit de rechercher.

Les essais ont été exécutés avec succès pour rechercher les essences de geranium rosat, de lavande, de bergamotte, de cumin placées dans le liquide à distiller à raison de 1 à 5 gouttes pour un litre d'eau, toute l'essence se trouve dans les 50 premiers centimètres cubes ; il en est de même quand on opère avec des fleurs d'oranger, des pétales de rose, des graines d'anis pulvérisées, de l'écorce d'orange (1).

MATIÈRES AZOTÉES.

Les combinaisons renfermant de l'azote contenues dans les végétaux sont très nombreuses et très variées.

Tandis que les unes sont des combinaisons minérales : nitrates et sels ammoniacaux qui ont été introduits dans les tissus et n'y ont pas encore été élaborés, les autres sont au contraire des produits de l'activité végétale ; on peut les classer en trois groupes : les alcaloïdes, les amides et les albuminoïdes, leur étude sera précédée de celle des nitrates et de celle des combinaisons ammoniacales.

Nitrates. — Les nitrates se rencontrent dans toutes les plantes, mais leur proportion varie dans d'énormes proportions ainsi qu'il a été dit déjà paragraphe 29, page 108.

On reconnaît aisément la présence de ces sels dans ces plantes, en les séchant, puis en les brûlant dans un endroit obscur, la combustion s'accompagne de déflagrations dues à la décomposition des nitrates au contact de la matière organique.

On peut encore caractériser les nitrates, en épuisant les végétaux desséchés à l'étuve et pulvérisés, par l'alcool, qui en général dissout peu de matières organiques, on évapore à sec l'extrait alcoolique, on reprend par l'eau et on fait tomber quelques gouttes du liquide dans un verre renfermant une dissolution de sulfate de fer dans l'acide sulfurique. Le liquide ajouté surnage l'acide sulfurique et bientôt à la ligne de séparation des deux liquides apparaît un anneau rouge de sulfate de sesquioxyde.

On peut enfin, ainsi qu'il a été dit plus haut (page 108), mettre à profit la

(1) *Comptes rendus*, t. XCIX, p. 977, 1884.

propriété que possède un des alcaloïdes des quinquinas, la cinchonamine, de précipiter l'acide azotique sous forme de brillantes aiguilles blanches.

(Voy. plus bas, IV^e^ partie : *Betteraves*, *Plantes fourragères*, etc.)

Sels ammoniacaux. — L'ammoniaque est peu abondante dans les plantes, on la rencontre surtout à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien : comme ce sel est mal décomposé par la magnésie, employée pour séparer l'ammoniaque sans attaquer les amides, il est bon de traiter la matière végétale par de l'acide chlorhydrique très dilué, puis de saturer par de la soude étendue, avant de procéder à l'ébullition avec la magnésie qui doit décomposer les sels ammoniacaux.

On sait que l'ammoniaque est un type d'une grande plasticité, et que l'hydrogène y est facilement remplacé par des corps composés ; la triméthylamine $Az(CH^3)^3$ est cependant la seule ammoniaque composée qu'on trouve dans les végétaux, on a constaté sa présence dans le *Chenopodium vulvaria*.

§ 78. — Alcaloïdes.

Les plantes renferment des matières azotées présentant nettement les propriétés basiques, ce sont les alcaloïdes.

Quelques-unes de ces bases sont ternaires, et ne contiennent pas d'oxygène, la seule importante est la *nicotine* qui existe dans les tabacs. La plupart sont des composés quaternaires formés de carbone, d'hydrogène et d'azote comme les précédentes, mais en outre oxygénées. Parmi ces dernières se trouvent la *morphine* qui se rencontre dans les pavots ; la *quinine*, la *cinchonine*, etc. ; qu'on extrait des écorces de quinquinas, la *strychnine* et la *brucine* qui donnent aux noix vomiques leurs propriétés toxiques.

Ces matières peuvent-elles être considérées comme des matériaux de réserve utilisés au moment de l'évolution des organes comme le sont les albuminoïdes, ou bien sont-ce au contraire des résidus, des excrétions sans emploi ?

Un travail de M. Heckel (1) qui a porté sur des graines renfermant des alcaloïdes bien caractérisés, notamment sur la caféine contenue dans les graines de *Sterculia acuminata*, tendrait à faire admettre la première hypothèse, car cette base disparaît lentement pendant la germination. Les expériences ont porté, en outre, sur le *Strychnos nux vomica* ; sous l'influence de l'embryon en voie de croissance, tous les alcaloïdes contenus dans l'endosperme ont dis-

(1) *C. R.*, t. CX, p. 88.

paru; mais les mêmes graines privées au préalable de leur germe, et enfouies dans la terre humide, conservent longtemps leurs alcaloïdes sans transformation.

Il est manifeste que les alcaloïdes subissent avant d'être utilisés dans l'organisme végétal de profondes métamorphoses, car M. O. Reveil a montré, il y a longtemps déjà (*De l'action des poisons sur les plantes*, Lyon, 1865), que, en arrosant des végétaux avec les solutions salines de leurs propres alcaloïdes, on n'arrivait qu'à les faire mourir.

Le mode de formation des alcaloïdes dans les plantes n'est pas encore connu, mais Wurtz et Hoffmann en montrant que le type ammoniaque AzH^3 est extrêmement plastique, que les trois atomes d'hydrogène sont facilement remplacés par des carbures d'hydrogène, ont permis de concevoir, soit la formation des alcaloïdes non oxygénés, soit même celle des alcaloïdes quaternaires, car AzR^3, en appelant R un radical, fixe facilement un iodure de ce même radical, et comme l'oxygène peut remplacer l'iode, on finit par obtenir des substances de la formule AzR^4O qui possèdent encore la fonction basique de l'ammoniaque primitive et qui présentent déjà une formule compliquée comme celle des alcaloïdes.

On approche encore davantage des alcaloïdes quand, au lieu d'ammoniaque, on emploie d'autres corps basiques tels que la pyridine C^5H^5Az ou la quinoléine C^9H^7Az, et, de fait, la plupart des alcaloïdes donnent, parmi leurs produits de décomposition, des dérivés pyridiques ou quinoléiques. Il est donc naturel de les rattacher à ces corps plus simples, et quelques-uns d'entre eux, la conicine, par exemple, ont pu être reproduits synthétiquement en partant de la pyridine et même du diamidopentane normal $C^5H^{10}(AzH^2)^2$, qui appartient à la série grasse et se range évidemment au voisinage d'autres principes immédiats tels que la glutanime $C^5H^6O^2(AzH^2)^2$, l'homologue supérieur de l'asparagine.

§ 79. — Corps amidés.

Les albuminoïdes sont essentiellement des matières de réserve non dialysables; quand elles doivent entrer en action et cheminer dans les tissus, elles se métamorphosent et prennent, suivant l'heureuse expression des physiologistes allemands, des formes de voyage, elles constituent alors les amides.

Nous avons indiqué déjà, dans le chapitre *Germination*, que les matières azotées des graines subissent cette métamorphose au mo-

ment où la vie y devient active et que les nouveaux organes apparaissent.

Les amides sont neutres ou acides, elles appartiennent au type ammoniac dans lequel un atome d'hydrogène est remplacé par un radical oxygéné; une des plus simples est l'acétamide AzC^2H^3O ou $\left.\begin{matrix}CH^3\\COAzH^2\end{matrix}\right\}$; l'oxamyde est formé par la soudure de deux molécules d'ammoniaque réunies par le radical biatomique de l'acide oxalique $C^2O^2(AzH^2)^2$.

On rencontre dans les végétaux quelques amides et notamment l'asparagine, la leucine et la tyrosine.

Asparagine. — L'asparagine $\left.\begin{matrix}COAzH^2\\CHAzH^2\\CH^2—CO^2H\end{matrix}\right\}$ est un corps solide blanc, cristallin, soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool absolu, l'éther et les huiles; les alcalis et les acides la dissolvent en la transformant en acide aspartique et en ammoniaque; l'asparagine en dissolution dans l'eau dévie à gauche le plan de polarisation de la lumière, son pouvoir rotatoire pour 100 mill. de sa dissolution ammoniacale $[\alpha]=-11°,18'$. On connaît son isomère optique dextrogyre, mais non l'asparagine racémique. Au point de vue chimique elle est à la fois amide, amine et acide; elle possède donc en même temps les fonctions d'acide et de base réunies.

L'asparagine se trouve toute formée dans les jeunes pousses d'asperges, dans les racines de réglisse, de guimauve, de grande consoude, dans les jeunes pousses de houblon, et dans les tiges étiolées des légumineuses.

Pour extraire l'asparagine des jeunes pousses d'asperge, on les abandonne pendant plusieurs jours dans un linge humide, il s'établit une sorte de fermentation qui détruit une matière mucilagineuse dont la présence rend difficile la cristallisation de l'asparagine, on filtre l'extrait pour séparer l'albumine coagulée, on concentre, et on obtient l'asparagine en cristaux.

Nous avons indiqué plus haut comment son dosage peut être exécuté. Il est à remarquer en outre que l'acide acétique détruisant le pouvoir rotatoire de l'asparagine, on peut utiliser cette propriété pour appécier la quantité de cet amide quand il est mélangé seulement à une substance dont le pouvoir rotatoire est connu.

Leucine. — La leucine $C^6H^{13}AzO^2$ se rencontre dans les produits

de décomposition des matières azotées pendant la germination, elle accompagne l'asparagine; c'est une substance cristalline plus soluble dans l'eau chaude que dans l'eau froide, et également plus soluble dans l'alcool bouillant que dans l'alcool froid.

Tyrosine $C^9H^{11}AzO^3$. — La tyrosine est une substance cristalline plus soluble dans l'eau que dans l'alcool qui provient de la décomposition des matières albuminoïdes, elle se rencontre dans les produits de cette décomposition avec la leucine.

Acide glutamique. — Ce corps, $C^5H^9AzO^4$, s'obtient en même temps que la leucine et la tyrosine par l'action prolongée de l'acide sulfurique sur le gluten; on l'obtient également en traitant à chaud par les alcalis la glutamine; la réaction est analogue à celle qu'ils produisent sur l'asparagine, quand ils la transforment en acide aspartique.

Glutamine $C\ H^{10}Az^2O^3$. — Se rencontre dans le suc des betteraves et dans les graines germées des cucurbitacées; elle cristallise en fines aiguilles, nettes, anhydres, médiocrement solubles dans l'eau froide, insolubles dans l'alcool fort.

Dosage des amides et des matières albuminoïdes.

Ce dosage peut s'effectuer par la méthode de Kjeldalh, qui transforme à l'aide d'acide sulfurique toutes les matières azotées en ammoniaque; ce dosage étant effectué (voy. p. 29), on dissout dans l'eau bouillante une partie de la matière à étudier, et on ajoute à la dissolution de l'acide phosphotungstique; il précipite les albuminoïdes solubles, mais ne précipite pas les amides, de telle sorte qu'en filtrant et en opérant de nouveau le dosage d'azote sur les matières insolubles, en soustrayant enfin l'azote des albuminoïdes de l'azote total, on trouve par différence l'azote appartenant aux amides (1).

§ 80. — Albuminoïdes.

Les végétaux renferment des matières qui par leur composition quaternaire et l'ensemble de leurs propriétés montrent de profondes analogies avec l'albumine de l'œuf, c'est là la raison pour laquelle on les désigne sous le nom d'albuminoïdes.

Ces substances, qu'elles proviennent des végétaux ou des animaux, présentent quelques caractères communs qui permettent de les reconnaître.

Traitées à froid par une petite quantité de sulfate de cuivre, puis par un excès de potasse, les solutions des matières albuminoïdes

(1) Hirschler, *Bulletin de la Soc. chim.*, t. XLVIII, p. 459.

forment une liqueur bleue ou violette. Cette réaction peut servir à reconnaître les matières albuminoïdes solides : lorsqu'on touche celles-ci successivement avec une goutte de solution de sulfate de cuivre, puis avec une goutte de potasse et qu'on lave ensuite avec de l'eau, l'endroit touché reste coloré en violet. Cette coloration n'a pas lieu lorsqu'on ajoute d'abord de la potasse.

On peut encore employer, pour reconnaître les albuminoïdes, le réactif de Millon qu'on prépare de la façon suivante : on dissout d'abord à froid puis à l'aide d'une douce chaleur : 1 partie de mercure dans son poids d'acide nitrique concentré, on étend la solution nitrique du double de son volume d'eau ; on laisse reposer pendant quelques heures, puis on sépare la liqueur claire par décantation des cristaux qui se sont déposés. Par l'ébullition avec cette solution, ou à froid après quelque temps, les matières albuminoïdes, même très étendues, prennent une coloration rouge. Cette réaction se produit encore dans des liqueurs qui ne renferment qu'un dix-millième de matière albuminoïde.

Les matières albuminoïdes d'origine végétale présentent avec celles qui proviennent des animaux des ressemblances profondes ; on les divise en plusieurs groupes.

Albumine végétale. — On réunit sous ce nom les substances protéiques non précipitables par les acides étendus et coagulables par la chaleur seule, qu'on rencontre dans les sucs et extraits végétaux et notamment dans les graines de céréales et dans les semences oléagineuses.

Ritthausen attribue à l'albumine des diverses graines la composition suivante :

	Semences de ricin.	Blé.	Orge.	Maïs.	Lupin.	Pois.	Fèves.
Carbone...	53.31	53.12	52.86	52.31	52.63	52.94	54.33
Hydrogène.	7.37	7.18	7.23	7.73	7.46	7.13	7.19
Azote.....		17.60	15.75	15.49	17.24	17.14	16.37
Soufre.....		1.55	1.18		0.76	1.04	0.89
Oxygène...		20.35	22.98		21.91	21.75	21.22

La quantité de cendres varie de 2,6 à 4,6 p. 100. Le produit coagulé obtenu avec les pois et les fèves se dissout facilement dans la potasse et l'acide acétique ; les autres produits résistent au contraire à ces agents.

On isole l'albumine végétale contenue dans la farine des céréales et autres graines en acidulant légèrement avec de l'acide acétique l'extrait aqueux de la farine après dépôt complet de l'amidon.

Le liquide filtré, au besoin, est porté et maintenu à l'ébullition et les flocons d'albumine qui se séparent sont recueillis sur un filtre, puis lavés à l'eau, à l'alcool et à l'éther. L'eau mère de ces flocons renferme généralement encore des matières protéiques que l'on peut séparer par l'acétate de cuivre et la potasse, il se dépose en même temps du phosphate de cuivre.

Dans la farine on a trouvé de 0,26 à 0,30 d'albumine coagulable par la chaleur contre 1,55 à 1,90 p. 100 de matière albuminoïde non coagulable.

Caséines végétales. — Ces matières sont très peu solubles dans l'eau pure, très solubles dans les lessives alcalines, les solutions de phosphates alcalins basiques et précipitables de ces dissolutions par les acides et par la présure.

Pour préparer ces substances on épuise les graines broyées, amandes, lupins, pois, haricots, par de l'eau renfermant un peu de potasse caustique; après décantation, le liquide clair est précipité par l'acide acétique; la matière recueillie sur un filtre est lavée à l'alcool qui la contracte et permet des lavages prolongés.

La caséine des amandes et des lupins ne paraît pas identique à celle des pois, des lentilles, des fèves et des haricots, quelques auteurs désignent la première sous le nom de conglutine et la seconde sous celui de légumine; ces substances retiennent énergiquement des cendres chargées d'acide phosphorique; leur teneur en azote présente des variations importantes : tandis que la proportion de cet élément s'élève à 18 centièmes dans la conglutine des amandes et descend à 16,6 dans celle des lupins bleus, elle est seulement de 16,77 dans les pois et de 14,71 dans les haricots.

Gluten. — La farine de froment malaxée avec environ la moitié de son poids d'eau forme une pâte, on l'abandonne à elle-même pendant une demi-heure environ, puis on la pétrit sous un filet d'eau; celle-ci entraîne l'amidon tandis qu'il reste entre les mains de l'opérateur une matière grisâtre, molle, élastique se tirant en masses fibreuses, c'est le gluten.

L'alcool permet d'en séparer quatre matières différentes : une insoluble désignée sous le nom de fibrine caséine, et trois autres solubles, la gluten fibrine, la gliadine et la mucédine.

Le maïs contient une substance analogue à la gluten fibrine, mais un peu moins riche en azote, elle est désignée sous le nom de zeine du maïs. Stepf et Ritthausen ont donné pour ces deux substances la composition suivante :

	Zeine du maïs.	Gluten fibrine du blé.
Carbone	54.69	54.31
Hydrogène	7.51	7.18
Azote	15.58	16.89
Soufre	0.69	1.01
Oxygène	21.53	20.60

La constitution des matières albuminoïdes est très complexe, elle a été établie par M. P. Schutzenberger dans un travail mémorable (1) d'où il résulte que ces substances sont des amides, dédoublables comme celles-ci, par hydratation, en ammoniaque et produits acides.

CHAPITRE IX

DU MOUVEMENT DE L'EAU DANS LA PLANTE.

Si les causes de l'ascension de l'eau dans des arbres de haute taille ne sont encore qu'incomplètement connues, bien que leur recherche ait depuis bien des années exercé la sagacité des observateurs, un très grand nombre de travaux importants ont été publiés sur le mouvement de l'eau dans la plante.

Nous les classerons naturellement en trois groupes :

1° Absorption de l'eau par la racine;

2° Ascension de l'eau dans les tiges;

3° Évaporation de l'eau par les feuilles, phénomène souvent désigné sous le nom de *transpiration*.

§ 81. — Absorption de l'eau par la racine.

Du contact de la racine avec les éléments solides du sol. — Il est nécessaire tout d'abord de se rappeler que les racines se trouvent dans le sol en contact très intime avec les matières solides qui le constituent.

Ce contact intime qui moule la racine sur le sol est facile à démontrer par une expérience due à M. J. Sachs et souvent répétée depuis; on garnit le fond d'une cuvette peu profonde comme celles qu'emploient les jardiniers pour les semis, d'une plaque de marbre bien polie, on la recouvre de sable qu'on maintient humide et on y sème quelques haricots; quand ils ont atteint une dizaine de cen-

(1) Voyez Supplément du *Dictionnaire* de Wurtz, t. I, *Matières albuminoïdes*.

timètres de hauteur, on renverse le sable, on lave la plaque de marbre et on voit sa surface creusée de sillons reproduisant exactement les racines qui sont venues buter contre elle et ont rampé à sa surface. La figure 39 reproduit les sillons obtenus sur le marbre.

La même expérience donne le résultat contraire avec une plaque de gypse parce que le sulfate de chaux, soluble dans

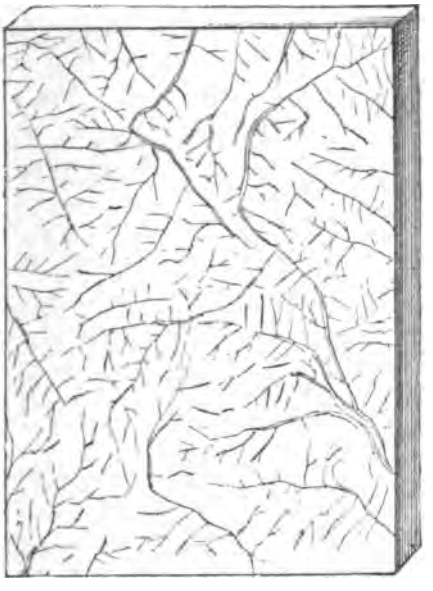


Fig. 39. — Sillons tracés par les racines sur une plaque de marbre.

l'eau, est enlevé dans les parties non protégées par les racines.

Cette expérience démontre non seulement qu'il y a un contact intime entre la racine et le sol, mais en outre que les radicelles sécrètent un acide assez énergique pour dissoudre le carbonate de chaux. On reconnaît la présence d'un acide dans les racines en faisant germer des graines sur du papier de tournesol bleu qui est rougi partout où il se trouve au contact des racines.

La dissolution du carbonate de chaux se produit non seulement dans les roches calcaires pures, mais même dans le grès, quand les grains de silice y sont agglutinés par du calcaire.

Ce contact de la racine et du sol humide est particulièrement intime, quand la racine se couvre de poils. C'est ce qui est facile à constater sur le blé ; si on sépare du sol avec précautions de jeunes racines, on enlève avec elles une gaine de terre enchevêtrée dans

les poils radiculaires ; tandis qu'au contraire l'extrémité en voie de croissance, couverte de la coiffe à l'aide de laquelle, elle pénètre dans la terre, apparaît seule libre et non enduite de terre. Si l'arrachage a lieu quand les racines sont plus âgées, la partie moyenne encore couverte de poils est seule couverte de terre, la partie supérieure a perdu ses poils et n'entraîne plus de terre avec elle.

Pour démontrer que c'est dans la région de la racine couverte de poils que se produit l'absorption de l'eau par la racine, on dispose quatre plantes de même espèce ayant déjà leurs racines bien développées et couvertes de poils, au-dessus de vases cylindriques renfermant de l'eau, de façon que le n° 1 ne plonge dans l'eau que par l'extrémité de sa racine, le n° 2 par toute la partie de la racine jusqu'aux premiers poils inférieurs ; toute la région des poils de la racine n° 3 pénètre dans l'eau, enfin pour le n° 4 on immerge la racine entière jusqu'au collet ; on reconnaît que les plantes 1 et 2 se flétrissent, que 3 et 4 végètent vigoureusement sans présenter entre eux de différences sensibles ; la partie dépourvue de poils du n° 4 immergée dans l'eau n'ayant pas d'influence sur l'absorption.

L'expérience de Nœgeli est encore plus démonstrative : pour prouver que la coiffe, que les arboriculteurs surtout avaient affublée du rôle de corps absorbant, de *spongiole*, comme ils l'appellent, n'est pour rien dans l'absorption de l'eau, il a disposé la plante de manière que la région de la racine pourvue de poils plongeât dans l'eau, la coiffe étant artificiellement relevée et émergée : ainsi disposée la plante ne souffre en aucune façon.

On conçoit facilement que les organes jeunes dans lesquels les cellules sont garnies d'un protoplasma abondant soient par excellence les organes d'absorption ; elle est due en effet à l'endosmose.

L'expérience de Dutrochet est trop connue pour qu'il soit nécessaire d'y insister, on se rappelle qu'il place dans un fragment de vessie liée à un tube de verre une substance gommeuse et qu'il suspend le tout dans un vase rempli d'eau ; celle-ci pénètre au travers de la paroi dans le liquide intérieur, augmente son volume, en quantité telle que son niveau s'élève de plusieurs centimètres au-dessus du liquide extérieur.

On conçoit, dès lors, que les poils radiculaires formés de cellules à protoplasma, séparées par une membrane de l'eau extérieure,

exercent sur elle la même action que la vessie et l'eau gommeuse de l'expérience de Dutrochet.

Il est plus difficile au contraire de comprendre que l'eau, une fois absorbée par les cellules à protoplasma, en vertu du pouvoir endosmotique, s'écoule ensuite dans les vaisseaux, *plus pure* peut-être qu'elle n'est entrée dans les cellules vivantes. Le fait existe néanmoins, mais actuellement il n'est pas explicable.

On suppose cependant que l'eau qui a pénétré dans la cellule s'engage ensuite dans les vaisseaux où elle est attirée par les forces capillaires.

Les expériences de capillarité sont exécutées dans tous les cours de physique : on ramollit dans la flamme d'un bec de gaz un tube de verre, puis on l'étire en écartant vivement les deux mains, on obtient ainsi des tubes d'un très faible diamètre ; si on les plonge dans un liquide coloré, on le voit s'élever rapidement et d'autant plus haut que le diamètre des tubes est plus étroit.

Ces expériences sont de nature à faire concevoir comment l'eau pénètre dans une plante enracinée dans un liquide, car la capillarité, la force de pénétration d'un liquide dans un corps poreux est considérable.

Expérience de Jamin. — Jamin en a donné des démonstrations saisissantes. Si, à son imitation, on choisit un bloc de craie bien homogène, dans lequel après dessiccation complète, on creuse un trou cylindrique vertical pénétrant jusqu'au centre, puis qu'on y adapte un tube étroit retourné en S, garni de mercure et fermé à son extrémité de façon à en faire un manomètre, qu'enfin après avoir hermétiquement scellé le tube dans le trou avec du mastic de fontainier, on immerge le bloc de craie ainsi préparé dans un vase rempli d'eau, on voit l'eau pénétrer dans la craie par capillarité, chasser devant elle l'air interposé dans la masse, le refouler dans le tube où il exerce une pression qui peut s'élever à 3 ou 4 atmosphères.

La plupart des corps poreux homogènes et à pores suffisamment étroits donnent les mêmes résultats avec des intensités variables : la pression s'est élevée jusqu'à 3 atmosphères dans une bille de billard et jusqu'à 5 dans un bloc de pierre lithographique, mais le marbre n'a rien produit.

Lorsqu'on veut opérer avec des substances pulvérulentes, on les tasse dans un vase poreux au moyen d'un mandrin et à coups de maillet, on dispose un manomètre dans leur intérieur comme on a fait précédemment pour la craie et l'on ferme l'ouver-

ture avec un bouchon de bois qu'on mastique avec le plus grand soin. L'expérience se fait comme avec les corps solides, en plongeant tout l'appareil dans l'eau et le manomètre monte de la même manière jusqu'à 3 atmosphères et demie environ, avec de la terre ou du blanc d'Espagne et presque à 5 avec de l'oxyde de zinc; avec l'amidon la pression après s'être élevée jusqu'à 6 atmosphères a dû, dans une expérience citée par Jamin (1), s'accroître beaucoup puisque la pression a fait sauter le manomètre.

La force avec laquelle pénètre l'eau dans les graines mises à gonfler est analogue; si on opère dans des vases de verre bien bouchés, on les voit souvent se briser.

Pour faire concevoir, enfin, comment l'eau interposée dans le sol pénètre dans les racines, il faut se rappeler que la capillarité tend toujours à faire pénétrer un liquide contenu dans un solide à pores grossiers dans un autre à pores plus fins; c'est ce dont profitent les chimistes quand ils dessèchent un précipité sur une plaque de biscuit de porcelaine ou de plâtre.

§ 82. — Ascension de l'eau dans la plante.

Expérience de Hales. — La force mise en jeu dans les racines est considérable; elle a été observée depuis fort longtemps par Hales. Au mois d'avril 1725, il coupa un cep de vigne au niveau du sol et s'apercevant que de la plaie s'échappait une grande quantité d'eau, il essaya de l'arrêter à l'aide d'un fragment de vessie; mais la membrane poussée en dehors se gonfla et creva quelque temps après. Il remplaça alors la vessie par un tube de verre vertical qui fut parfaitement fixé sur la souche restée en terre; bientôt l'eau monta dans ce tube jusqu'à une hauteur de 7 mètres environ.

En 1849, Fr. Mohr répéta l'expérience de Hales, en se servant d'un tube recourbé renfermant du mercure; il trouva qu'en vingt-deux heures le mercure s'élevait à une hauteur correspondant à 8 mètres d'eau. Neubauer a obtenu une élévation de mercure de 49,2 centimètres et une fois de 112 centimètres.

Il est donc manifeste qu'un chevelu jeune s'enfonçant dans un sol humide s'y charge d'humidité qui s'élève dans les vaisseaux et y détermine une poussée assez vigoureuse pour que l'eau appa-

(1) Leçons professées devant la Société chimique de Paris, séance du 8 mars 1861.

raisse en dehors à l'état liquide, si elle ne disparaît pas par transpiration.

Pleurs de la vigne. — En effet, on remarque souvent au premier printemps que les jeunes feuilles de graminées portent à leur pointe une fine gouttelette d'eau, et que la taille de la vigne occasionne, par les blessures, l'écoulement d'un liquide désigné sous le nom de *pleurs de la vigne*.

Les quantités de liquide, que donnent les différents pieds, varient dans d'énormes proportions, M. le baron Von Caustein les a mesurées en 1874 (1); sur des vignes âgées de quarante ans, on a trouvé en vingt-quatre heures, pour un cep, des quantités passant de 10 à 950 centimètres cubes, et pendant toute la saison de 150 centimètres cubes à 15 litres 460 centimètres cubes. Des pieds du même âge, placés dans le même sol, exposés aux mêmes circonstances atmosphériques, présentent de très grandes différences dans la durée et l'abondance des pleurs.

§ 83. — Ascension de l'eau dans les vaisseaux.

L'eau absorbée dans le sol par la racine s'élève dans les vaisseaux : c'est ce qu'il est facile d'observer, en opérant comme l'indique M. J. Vesque (2).

Expérience de M. Vesque. — « Un coulant de Hartwegia est coupé sous l'eau et l'extrémité inférieure est taillée en un biseau très allongé, assez mince pour que les vaisseaux puissent se voir facilement au microscope; cette petite opération doit se faire également sous l'eau ou au moins avec un rasoir couvert d'une couche d'eau, le coulant portant lui-même une grosse goutte d'eau à son extrémité, toutes ces précautions ont pour but d'éviter l'entrée de l'air dans les vaisseaux. On fixe ensuite le coulant sur le porte-objet du microscope »..., et on introduit dans la goutte d'eau où plonge l'extrémité des vaisseaux un peu de liquide tenant en suspension un précipité d'oxalate de chaux; « aussitôt on voit se produire un mouvement tumultueux à l'entrée des vaisseaux; les corpuscules solides y sont entraînés avec une vitesse telle que, pour peu qu'on se serve d'un grossissement un peu fort, on a peine à les saisir au passage. Le sel insoluble s'amasse en quantité à l'ouverture des vaisseaux, on voit pendant quelque temps la succion

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 295.
(2) *Ann. des sciences natur. bot.*, 6e série, t. XV, p. 5.

se manifester à travers la masse opaque, de gros bouchons du diamètre du vaisseau sont arrachés de temps en temps et entraînés violemment dans le tube étroit où ils s'arrêtent parfois pendant quelques instants pour reprendre bientôt leur marche ascendante.

« Lorsque le vaisseau est complètement bouché, des bulles d'air ne tardent pas à y apparaître, évidemment par suite d'une diminution de pression suffisante pour provoquer le dégagement de l'air dissous dans l'eau.

« Si, pendant l'absorption la plus active, on détache la partie feuillue du rameau, le mouvement de l'eau cesse instantanément. »

On pouvait reprocher à cette expérience d'avoir été faite sur des rameaux coupés : M. G. Capus a réussi à suivre le mouvement de l'eau dans des plantes entières pourvues de leurs racines.

Expériences de M. Capus. — Les observations ont porté sur un *Begonia*, un *Dahlia* et un topinambour. M. Capus enlève l'écorce sur une petite longueur, afin de dénuder le jeune bois ; il fait ensuite au côté opposé un trou et il creuse la moelle jusqu'au bois ; la portion de bois dénudé devient ainsi assez transparente pour être examinée au microscope. Celui-ci est fixé horizontalement, sur l'axe vertical d'un cathétomètre ; si le soleil ne donne pas sur la plante, les vaisseaux tendent à s'injecter d'eau, les index d'air diminuent et finissent par disparaître ; si au contraire les feuilles sont exposées au soleil, les index se déplacent dans le sens de la hauteur et accusent le mouvement de l'eau dans la plante.

Toutes les observations que nous venons de rapporter montrent que les vaisseaux renferment des colonnes d'eau séparées par des index de gaz et il importe de savoir, d'une part, à quelle cause attribuer la présence de ces gaz dans les vaisseaux et d'autre part comment ces gaz interviennent dans le mouvement ascensionnel de la sève.

De la pression dans les vaisseaux. — On doit à M. von Hœhnel une expérience très intéressante. Si on coupe une branche d'un arbuste en immergeant la courbure dans un liquide coloré ou même dans le mercure, puis qu'on procède à des coupes longitudinales, on voit à l'aide d'une simple loupe que les vaisseaux sont injectés du liquide coloré ou de mercure jusqu'à une hauteur de plusieurs décimètres.

Pour qu'au moment où la section a eu lieu, le liquide s'élance dans l'intérieur des vaisseaux, il faut que la pression soit dans ceux-ci inférieure à la pression atmosphérique.

Il résulte, en outre, des observations de M. R. Hartig (1) que la pression dans les vaisseaux est parfois, dans la couronne d'un arbre, réduite au cinquième de la pression atmosphérique tandis qu'à la base elle serait encore d'une demi-atmosphère.

L'expérience de M. von Hœhnel prouve que, dans certains cas, la pression dans les vaisseaux est inférieure à la pression atmosphérique, celles de Hales montrent, au contraire, que dans d'autres cas la pression est plus forte qne cette pression, et on conçoit facilement qu'il puisse en être ainsi.

Au premier prinptemps, en hiver, le sol est humide, de jeunes tissus se forment dans les racines, ils se gorgent d'eau, les feuilles n'étant pas encore développées, la transpiration est nulle, l'absorption domine et fait pénétrer dans les vaisseaux une quantité d'eau surabondante ; mais il peut en être tout autrement pendant l'été, le sol est plus sec, la transpiration plus active, les cellules restent gorgées d'eau à la condition d'en emprunter aux vaisseaux ; par suite, la pression diminue dans ceux-ci et les gaz dissous se dégagent, la pression intérieure est plus faible que la pression atmosphérique; pendant la nuit, au contraire, la transpiration diminue, la température baisse, les gaz se dissolvent, disparaissent et la pression peut redevenir égale à celle de l'atmosphère. On conçoit que de l'eau ayant pénétré dans le bois par suite de la puissance absorbante des racines due à l'osmose et à la capillarité, il s'établisse dans ce bois une sorte d'équilibre entre la pression des gaz et la poussée de l'eau; les gaz peuvent être comprimés quand la poussée est forte, dilatés si elle est faible; mais réciproquement les gaz dilatés par la chaleur ou contractés par le froid exercent à leur tour sur les liquides une pression forte dans un cas, faible dans l'autre, qui retardera ou favorisera le mouvement de l'eau.

Si, par exemple, en hiver ou au premier printemps, on taille un arbre et qu'il survienne une journée de soleil, les gaz contenus dans le bois, dilatés par la chaleur, détermineront un écoulement de sève plus fort que si la température est basse; c'est ainsi que l'érable pleure parfois au milieu de l'hiver par une journée de soleil, alors que le sol est complètement gelé.

Les vaisseaux renferment donc des gouttes d'eau séparées par des index de gaz, et le tout est maintenu en équilibre comme dans l'expérience célèbre des chapelets de Jamin, dans laquelle on voit

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 231.

de petites colonnes d'eau séparées par des index d'air, non seulement rester suspendues et par conséquent résister à la pesanteur, mais encore opposer à la pression exercée à une des extrémités du tube une résistance absolue, et ne subir aucun déplacement quand on souffle, par exemple, dans le tube.

Si les vaisseaux des plantes étaient imperméables comme le tube de verre de Jamin, les index d'air formeraient un obstacle à l'élévation de l'eau dans la plante, mais leur perméabilité permet, au contraire, à l'eau et même aux gaz de s'échapper par des organes voisins; et un vaisseau peut être obstrué par des index gazeux sans que l'eau cesse d'affluer aux feuilles, seulement elle passe alors de cellules en cellules au lieu de s'élever dans les vaisseaux mêmes.

La poussée des racines et l'ascension capillaire de l'eau dans les vaisseaux du bois ne suffisent pas pour expliquer l'ascension de la sève dans le bois de nos arbres. La première est en effet trop lente, car nous avons vu que les pleurs cessent de se produire lorsque les feuilles sont entièrement développées, la seconde peut donner lieu à une ascension directe qui ne dépasse pas quatre mètres. Frappé de ces difficultés, M. Sachs a invoqué la théorie de l'imbibition dont voici le principe : au point de vue de la sève ascendante, le bois peut être considéré comme un échafaudage de parois cellulaires lignifiées et saturées d'eau. Si cette masse imbibée perd de l'eau par évaporation en un de ses points *a*, et qu'en un autre point *b*, elle se trouve en contact avec de l'eau liquide, il s'établira un courant d'eau de *b* à *a;* les cavités des cellules ne seraient pour rien dans le phénomène de l'ascension de la sève.

Or nous avons vu plus haut qu'en réalité l'eau se meut, non dans l'épaisseur des parois cellulaires, mais soit dans les vaisseaux, soit de cellule en cellule, à travers les parois. Cette théorie doit donc être abandonnée.

Actuellement, les physiologistes sont partagés en deux camps. Les uns veulent expliquer l'ascension de la sève par le concours des seules forces physiques : vide fait dans les parties supérieures du bois par la transpiration, capillarité, osmose des racines; les autres, croyant que ces forces ne suffisent pas, ont recours à des propriétés particulières, d'ailleurs proprement hypothétiques, des cellules vivantes du bois, c'est-à-dire des rayons médullaires et du parenchyme ligneux, si ce dernier tissu y existe. On conçoit que si chacune des innombrables cellules vivantes, réparties dans le bois depuis la base jusqu'au sommet de l'arbre, travaille à la manière d'un cœur ou d'une pompe aspirante et foulante, on explique facilement l'ascension de l'eau à n'importe quelle hauteur.

Il n'est cependant pas prouvé que les forces physiques ne suffisent pas, puisque Jamin a démontré que la capillarité peut amener l'eau jusqu'au sommet d'un système de hauteur quelconque et y entretenir une évaporation, absolument comme l'huile, remontant par capillarité dans une mèche, entretient la flamme. Mais les choses sont plus compliquées dans la plante.

M. Vesque admet que, le vide existant dans les vaisseaux et les autres éléments anatomiques du bois de la couronne de l'arbre, et la pression atmosphérique régnant à la base du tronc, la pression atmosphérique se trouve en quelque sorte morcelée depuis la base jusqu'au sommet, de telle sorte que la pression de l'air inclus est toujours un peu plus forte dans une cellule immédiatement inférieure. L'eau serait ainsi chassée de cellule en cellule par des différences de pression ; le moteur est évidemment la transpiration qui fait le vide et qui prend sa force vive dans les radiations solaires; si la colonne liquide qui monte dans l'arbre était continue, elle ne pourrait pas dépasser la hauteur de la colonne barométrique exprimée en eau, c'est-à-dire dix mètres environ. Mais tel n'est pas le cas. Il n'y a que des gouttes d'eau suspendues par capillarité dans le bois et reliées entre elles par des rigoles microscopiques, formées par les angles des cellules et par les fils spiralés ou autres qui ornent si souvent la paroi des vaisseaux. Si une différence de pression de l'air inclus chasse l'eau de la partie supérieure d'une cellule dans la partie inférieure d'une cellule placée plus haut, l'air et l'eau ne sont plus répartis dans la cellule selon les règles de la capillarité, de l'eau monte de la partie inférieure de la première cellule jusque dans sa partie supérieure, le long des angles des cellules ou du fil spiral faisant une saillie intérieure et donnant ainsi naissance à deux rigoles longitudinales.

On peut mettre ce phénomène en évidence par l'expérience suivante : on introduit dans un tube capillaire de 15-20 centimètres de longueur un fil de verre d'un diamètre beaucoup plus fin, on y forme avec de l'eau un chapelet de Jamin, on le fixe verticalement après en avoir bouché l'extrémité supérieure avec un peu de plâtre gâché. Ce plâtre, qui ne tarde pas à prendre, s'imbibe de l'eau prise dans l'index d'eau supérieure, à mesure qu'il en perd lui-même par capillarité. Le chapelet de Jamin reste naturellement immobile. Si on suspend maintenant à l'extrémité inférieure du tube une goutte d'eau colorée avec de l'éosine, on voit bientôt le premier index d'eau, immobile au-dessus de la première bulle d'air, se colorer, puis le deuxième index, et ainsi de suite jusqu'au plâtre. L'eau colorée monte d'index en index le long des deux rigoles formées par la paroi du tube et le fil de verre qui lui est tangent. Les bulles d'air immobiles de ce chapelet de Jamin ne sont point un obstacle à l'ascension de l'eau dans ce tube de verre. Il est clair que les choses doivent se passer de même dans les vaisseaux spiralés des plantes et dans toutes les cellules anguleuses. Mais il n'est pas démontré que ces phénomènes suffisent à entretenir la transpiration. En deux mots, d'après cette théorie, la pression atmosphérique fait passer l'eau de cellule en cellule et la capillarité la fait monter en dedans de chaque cellule de la partie inférieure à la partie supérieure (1).

(1) Le lecteur désireux d'approfondir la question délicate du mouvement de l'eau dans le bois consultera avec avantage les mémoires suivants : La cause du mouvement de l'eau dans les plantes par M. J. Boehm, *Ann. agron.*, t. VIII, p. 291. — Remarques critiques sur les travaux récents concernant le mouvement de l'eau dans le bois par M. J. Vesque, IX, 21 ; deux autres mémoires du même auteur, IX, 562 ; X, 32. Du mouvement de l'eau dans les plantes par M. Hartig, IX, 231 ; même sujet, par M. Max Seicht, X, 260. Contribution à la théorie de la circulation de la sève dans les plantes par M. Godlewski, XI, p. 165. Étude sur les réservoirs d'eau des plantes par M. J. Vesque, XII, 449-497.

TRANSPIRATION.

La transpiration ou évaporation de l'eau par les feuilles est un des phénomènes les plus anciennement observés, puisque les premières recherches dues à Woodward remontent au XVII[e] siècle; depuis cette époque ce sujet a continué d'occuper les physiologistes et il importe d'y insister; en voyant quelles énormes quantités d'eau circulent dans les plantes, les agronomes reconnaîtront à quel point sont utiles les travaux qui ont pour but de favoriser les irrigations.

§ 84. — Démonstration expérimentale.

Rien n'est plus simple que d'avoir immédiatement une idée des quantités d'eau émises par les plantes herbacées exposées au so-

Fig. 40. — Méthode employée par M. Dehérain pour montrer la transpiration.

leil : il suffit, à l'imitation de ce que fit Guettard au XVIII[e] siècle, d'introduire une feuille longue et étroite comme celle d'une graminée, du blé ou du seigle, attenante à la plante, dans un tube d'essai ordinaire muni d'un bouchon fendu dans sa longueur; avec un peu d'habitude on serre la feuille sans la froisser entre les deux parties du bouchon, on soutient ce petit appareil à l'aide d'un support (fig. 40) et après quelques instants on voit au soleil le verre se cou-

vrir de buée, elle se condense bientôt en gouttelettes qui ruissellent sur les parois; si après une heure d'exposition au soleil on coupe la feuille avec des ciseaux au ras du bouchon et qu'on pèse successivement : la feuille, le tube avec l'eau condensée, puis le tube sec, on trouvera la quantité d'eau évaporée; le tableau suivant donne une première idée des quantités émises (1).

Quantité d'eau émise en une heure par les feuilles exposées au soleil.

DATES de l'expérience.	NATURE de la plante.	TEMPÉRATURE de l'air.	POIDS de l'organe.	POIDS de l'eau recueillie	POIDS de l'eau recueillie pour 100 de feuilles.
			gr.	gr.	
			15.600	0.210	1.3
23 avril 1869....	Colza.....	25°	12.100	0.186	1.5
			18.400	0.200	1.0
			4.500	0.550	12.0
30 avril.....	Colza.....	36°	3.225	0.385	11.0
			6.430	0.760	12.0
		28°	2.410	2.015	88.2
8 juin.....	Blé.....	19°	1.510	1.120	74.2
		22°	1.850	1.330	71.8
			0.053	0.055	100.0
2 juin.....	Seigle	36°	0.055	0.053	99.0
			0.065	0.040	92.0

Ainsi en une heure, une jeune feuille de blé ou de seigle évapore une quantité d'eau voisine de son poids.

Cette eau évaporée vient manifestement du sol, et on sait que si dans les circonstances habituelles l'absorption par la racine compense l'évaporation, il peut arriver que l'équilibre soit rompu, que la plante évapore plus d'eau qu'elle n'en reçoit, c'est ce qu'on observe après une chaude journée d'été, où les feuilles fanées languissantes s'étalent sur le sol; souvent une nuit suffit pour rétablir l'équilibre et le lendemain, on voit redressées, turgescentes, les feuilles, qui n'ont plus rien de l'aspect lassé de la veille.

Malheureusement pour la plante et pour le cultivateur, la moindre

(1) P.-P. Dehérain, *Ann. des sc. nat. bot.*, 5e série, t. XII, p. 5.

trace de cet état de prostration suffit pour supprimer totalement l'assimilation du carbone; par suite, le temps pendant lequel la plante est momentanément fanée est absolument perdu pour son accroissement. Cet état fâcheux ne se produit pas quand l'absorption est égale à l'évaporation; il est donc intéressant de comparer ces deux fonctions, c'est ce qu'a réalisé M. Vesque à l'aide de l'appareil décrit dans le paragraphe suivant.

§ 85. — L'absorption comparée a la transpiration.

Cet appareil (1) consiste en un tube cylindrique A (fig. 41) fermé par un bouchon dans lequel on mastique hermétiquement la

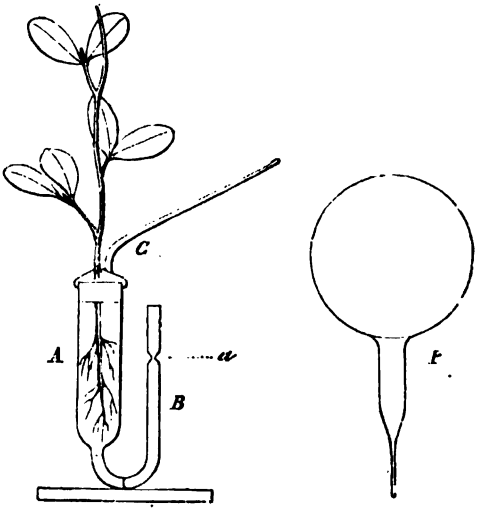


Fig. 41. — Appareil de M. Vesque pour comparer l'absorption à la transpiration.

tige d'une petite plante enracinée dans l'eau; ce tube est soudé à un autre tube plus étroit recourbé de façon à avoir une grande branche verticale B. Sur un point de celle-ci, en *a*, le tube est étranglé.

L'appareil, qui mesure 7 à 8 centimètres de haut, est placé sur une petite planchette de bois verni, ou sur un bouchon plat.

Quand tout l'appareil est rempli d'eau, on y fait pénétrer la plante, puis on place le bouchon fendu qui doit être assez bien

(1) *Ann. des sc. nat. bot.*, 6e série, t. VI, p. 201.

fait pour serrer la tige sans l'écraser; on essuie bien exactement le bouchon, et on mastique de façon à ce qu'il ne reste pas de gaz au-dessous du bouchon, et que la fermeture soit assez hermétique pour que l'air ne puisse pas pénétrer; si quelques bulles persistaient, elles seraient évacuées par le petit tube capillaire *c* qu'on voit à droite du dessin.

L'appareil étant ainsi disposé, et l'eau arrivant exactement à l'étranglement *a*, ce qui est facile à obtenir, en enlevant l'excès de liquide avec du papier à filtre, on pèse; supposons que P soit le poids de l'appareil; on l'expose dans des conditions déterminées, soit au soleil, soit à la lumière diffuse, dans une atmosphère sèche ou saturée, puis quand l'évaporation a eu lieu, on pèse de nouveau, supposons que P′ soit le poids obtenu à la fin de l'expérience.

L'eau perdue par évaporation est évidemment $P - P'$, on voit du reste que l'eau a baissé dans le petit tube; pour savoir si l'évaporation a été égale à l'absorption, on fait pénétrer, à l'aide de la petite boule munie d'un tube placée à droite de la figure 39, de l'eau dans le petit tube, jusqu'à ce qu'elle affleure de nouveau à l'étranglement *a*.

On pèse à ce moment l'appareil, P″ est le poids obtenu; en comparant ces trois poids les uns aux autres, on peut constater les cas suivants : $P = P''$, l'appareil à la fin de l'opération se retrouve exactement à l'état où il était au commencement; dans ce cas l'évaporation $P - P'$ représente également l'absorption.

Mais il peut arriver que $P > P''$, c'est-à-dire qu'à la fin de l'opération, le tube étant de nouveau rempli d'eau, il y ait eu cependant diminution de poids de tout le système, dans ce cas l'évaporation a surpassé l'absorption : l'évaporation $P - P'$ se trouve être plus grande que l'absorption mesurée par la différence $P'' - P'$.

Un autre cas peut également se présenter : on peut trouver après la troisième pesée que $P < P''$; dans ce cas l'absorption a été plus forte que l'évaporation; une certaine quantité d'eau s'est logée dans la plante ou le rameau mis en expérience.

Quand on maintient une plante à la lumière diffuse dans un air moyennement humide, on constate généralement que l'absorption est égale à l'évaporation.

Lorsqu'une plante tirée de ces conditions moyennes est exposée à l'air sec, la transpiration est bien plus forte que l'absorption;

la plante se fane, suivant l'expression consacrée elle baisse la tête.

Si au contraire on maintient une plante dans l'air saturé, sans l'exposer aux radiations qui favorisent l'évaporation, l'absorption surpasse la transpiration.

Lorsqu'enfin une plante manque d'eau, la succion produite par la transpiration n'est pas perdue; elle s'accumule pour agir aussitôt que les racines arrivent au contact de l'eau. On observe alors une absorption beaucoup plus énergique que la transpiration, absorption qui va en diminuant à mesure que le vide existant se comble, pour se régler finalement sur l'intensité de la transpiration.

Après avoir esquissé l'ensemble du phénomène, montrer que les feuilles évaporent des quantités d'eau considérables, qui leur sont habituellement fournies par les racines, mais qu'il est des cas dans lesquels cet équilibre entre l'évaporation et l'absorption peut être rompu, nous devons pénétrer plus avant dans l'étude du phénomène et chercher quelles sont les quantités d'eau évaporées par les divers végétaux. Cette étude a été entreprise depuis bien des années, puisque les premières observations remontent au physiologiste anglais Hales.

§ 86. — Transpiration de diverses espèces végétales.

Expérience de Hales. — On lui doit de nombreuses et intéressantes observations sur la puissance évaporatoire des feuilles; il les publia en 1727, dans le premier volume de ses célèbres *Essais statiques*. Celles qui ont plus particulièrement trait au sujet que nous étudions se trouvent dans le premier chapitre, intitulé : « Sur la quantité d'humidité absorbée et évaporée par les plantes et les arbres ». La plus célèbre expérience de Hales fut faite en 1724 sur un beau pied d'*Helianthus* arrivé à toute sa croissance, qui avait plus d'un mètre de haut et qui avait été planté encore jeune dans un pot à fleur, précisément pour servir aux expériences.

La terre était recouverte d'une lame métallique portant une ouverture par laquelle on pouvait faire couler l'eau d'arrosage: deux pesées faites chaque jour indiquaient quelles étaient les quantités d'eau que la plante perdait par l'évaporation. On trouva que la plante transpirait en moyenne 220 grammes d'eau par jour de douze heures; le maximum fut de 330 grammes. Les expériences

de Hales portèrent également sur un chou, une vigne, un jeune pommier et un oranger.

Le résultat de ces expériences est réuni dans le tableau suivant :

	Surface entière des feuilles. — Cent. carrés.	Eau évaporée en 12 heures. — Grammes.	Rapport de l'évaporation à la surface de la plante (1).
Helianthus.....	35 100	220.0	$\frac{1}{165}$
Chou.....	17 100	209.0	$\frac{1}{80}$
Vigne.....	11 375	60.5	$\frac{1}{191}$
Pommier.....	9 833	99.0	$\frac{1}{109}$
Oranger.....	15 974	113.3	$\frac{1}{218}$

La conclusion pratique tirée de ces expériences fut que le chou évapora la plus grande quantité d'eau et l'oranger la plus petite. En répétant ces observations sur d'autres plantes, Hales trouva que dans tous les cas les arbres verts évaporent moins d'eau que les arbres à feuilles caduques.

Travaux de sir John B. Lawes. — On doit au célèbre agronome anglais M. Lawes une importante série d'expériences qui portèrent sur de jeunes arbres appartenant aux espèces suivantes : frêne, mélèze et sycomore, qui avaient une touffe de petites branches, tandis que les deux épines-vinettes, les lauriers et l'if étaient en buisson (2).

Les plantes furent placées dans des pots qu'on pesa régulièrement, de façon à déterminer la quantité d'eau évaporée pendant une période d'une semaine ; on arrosait autant qu'il était nécessaire. Les pesées montrèrent que l'évaporation est beaucoup plus active dans les arbres à feuilles caduques que dans les plantes à feuillage persistant.

Dans un autre travail inséré dans le *Journal de la Société d'horticulture de Londres* (vol. V, p. I, 1850), M. Lawes a encore déterminé la quantité d'eau évaporée par quelques-unes des plantes habituellement cultivées, pendant la durée de leur croissance.

(1) Nous avons pris les rapports donnés par l'auteur anglais ; ceux qu'on trouverait en calculant les nombres inscrits dans le tableau sont un peu différents, à cause de petites inexactitudes résultant des conversions des mesures anglaises en mesures françaises.

(2) *Evaporation of evergreen and deciduous trees, from the Journ. of the Hortic. Soc. of London*, 1851, vol. VI, part. III et IV, et *The Rothamsted Memoirs*, vol. I.

		Eau évaporée par la plante. gr.	Matière sèche élaborée. gr.
Blé....	Sans engrais	7353.5	29.72
	Engrais minéral	6438.1	28.55
	Engrais minéral et sels ammoniacaux.	3627.0	17.61
Orge..	Sans engrais	7774.3	30.15
	Engrais minéral	8313.9	32.43
	Engrais minéral et sels ammoniacaux.	5513.7	20.29
Fèves..	Sans engrais	7269.6	34.82
	Engrais minéral	7634.7	34.83
Pois...	Sans engrais	7065.5	27.27
	Engrais minéral	6244.4	29.63
Trèfle.	Sans engrais	3568.5	13.26
	Engrais minéral	3479.8	15.21
	Engrais minéral et sels ammoniacaux.	885.5	6.55

En calculant la quantité d'eau évaporée correspondante à la formation d'un gramme de matière sèche, on trouve pour le blé sans engrais $\frac{7353.5}{29.72} = 247$. Les autres chiffres sont analogues et la conclusion est que « pendant la croissance et la maturité des graminées, comme des légumineuses, il y a de 250 à 300 parties d'eau évaporée pour une partie de matière sèche élaborée ».

Recherches d'Haberlandt. — Haberlandt (1) a essayé de déterminer les quantités d'eau évaporées par les cultures de céréales ; son mode d'investigation ne peut conduire qu'à des conclusions approchées ; il avait semé à des époques de plus en plus tardives : du blé de printemps, du seigle, de l'orge et de l'avoine, puis quand les plantes eurent acquis des développements tels que les unes pouvaient être désignées comme jeunes plantes, les secondes comme plantes moyennes avant la floraison, les troisièmes comme défleuries, plusieurs pieds de chaque espèce et de chaque âge furent déracinés avec précaution et les racines introduites dans de grands tubes de verre remplis d'eau jusqu'à un trait marqué au diamant ; un tampon de coton empêchait l'évaporation directe ; ces tubes furent entièrement enfouis dans du sable, disposé dans un endroit bien découvert ; plusieurs fois par jour on remplaçait l'eau évaporée à l'aide d'une pipette dont le débit était mesuré par une pesée avant et après la distribution à chacun des tubes ; les observations durèrent une première fois pendant deux jours clairs à soleil brillant, une seconde fois par un temps sombre et pluvieux.

(1) *Ann. agron.*, t. II, p. 305.

Bien que la durée des observations de la première série ait été seulement de deux jours et huit heures, celle de la seconde de quatre jours, l'évaporation fut plus abondante pendant la première série, tant est puissante l'influence des radiations solaires directes. On remarquera en outre que les jeunes plantes de la première série évaporent, par rapport à leurs poids, plus d'eau que celles de la seconde et de la troisième ; l'auteur attribue ces différences au rapport beaucoup plus élevé des racines à la partie aérienne, pendant le jeune âge ; en pesant séparément les tiges et les racines sèches, il trouve, en effet, les rapports suivants, la racine étant égale à 1 dans tous les cas :

	Jeune plante.	Plante moyenne.	Vieille plante.
Pour le blé.....	1 : 0.673	1 : 4.913	1 : 10.471
— le seigle.....	1 : 1.075	1 : 7.171	1 : 12.288
— l'orge.....	1 : 1.100	1 : 6.242	1 : 14.556
— l'avoine.....	1 : 1.208	1 : 4.319	1 : 16.914

En mesurant les surfaces d'un certain nombre de plantes à leur différent développement et en s'appuyant sur les nombres trouvés dans ses expériences, Haberlandt a essayé de calculer la quantité d'eau évaporée pendant la durée de leur croissance par l'ensemble des plantes développées sur la surface d'un hectare ; il arrive ainsi, en supposant que le nombre des pieds d'un hectare soit d'un million, aux chiffres suivants :

	Quantités d'eau évaporées par un hectare pendant toute la croissance de diverses graminées.
Blé.....	1.179.920 kilos.
Seigle.....	834.890 —
Orge.....	1.236.710 —
Avoine.....	2.277.760 —

Si on supposait, enfin, que la récolte sèche d'un hectare fût de 5000 kilogrammes, on arriverait pour la consommation d'eau nécessaire à la production d'un kilogramme de matière sèche, aux nombres suivants :

Blé.....	234 kilos.
Seigle.....	166 —
Orge.....	247 —
Avoine.....	455 —

Nous avons vu plus haut que sir John B. Lawes avait trouvé en moyenne que la quantité d'eau évaporée correspondante à l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche était comprise entre 250 et 300 litres ; les nombres d'Haberlandt sont à peu près du même

ordre ; si en effet on en prend la moyenne, on trouve 275 kilogrammes.

M. Risler est également arrivé pour l'avoine à des chiffres analogues (1) ; il trouve 250 kilogrammes par kilogramme de matière sèche pour l'avoine ; pour le trèfle le chiffre est beaucoup plus fort.

§ 87. — Influence de l'age de la feuille sur l'énergie de la transpiration.

Expériences d'Haberlandt. — Dans ses expériences sur la transpiration des céréales, que nous venons d'analyser, Haberlandt a comparé les quantités d'eau évaporées aux diverses époques de la croissance, il a reconnu, ainsi qu'il a été dit plus haut, que l'évaporation était beaucoup plus active dans le jeune âge qu'à l'approche de la maturité ; c'est ce qui résulte du tableau suivant :

ESPÈCES ET PÉRIODES.		ÉVAPORATION PAR JOUR par 100 c. q. de surface.	ÉVAPORATION PAR JOUR pour toute la plante (grammes).	ÉVAPORATION DE CHAQUE PLANTE (grammes) pendant chaque période.	ÉVAPORATION DE CHAQUE PLANTE (grammes) pendant toute la vie.
Blé....	1re période...	5.136	5.732	143.30	1179.92
	2e — ...	2.802	11.981	299.50	
	3e — ...	2.657	18.428	737.12	
Seigle..	1re période...	3.765	4.300	107.50	834.89
	2e — ...	2.611	10.809	270.22	
	3e — ...	2.172	13.062	457.17	
Orge...	1re période..	5.212	8.214	205.35	1236.71
	2e — ...	3.273	15.622	390.55	
	3e — ...	2.989	18.309	640.81	
Avoine.	1re période..	3.272	12.384	309.60	2277.76
	2e — ...	2.438	27.988	699.70	
	3e — ...	2.228	27.188	1268.46	

On voit cependant que le poids des plantes étant beaucoup plus considérable dans la troisième période que dans la première, elles évaporent dans la dernière partie de leur vie plus d'eau qu'à l'origine, bien que pour une surface constante la transpiration soit moins active dans les vieilles feuilles que dans les jeunes.

(1) *Recherches sur l'évaporation du sol et des plantes*, Genève, 1871.

Expériences exécutées à Grignon (1869). — En étudiant l'évaporation des feuilles de différents âges, j'étais arrivé, en opérant autrement qu'Haberlandt, aux mêmes résultats; j'introduisais dans les tubes munis de bouchons fendus, des feuilles prises à diverses hauteurs de la tige d'une même plante, en ayant soin qu'elles fussent également exposées au soleil.

Les expériences ont porté sur du seigle et ont fourni les nombres inscrits au tableau suivant :

Quantité d'eau évaporée par des feuilles de seigle de différents âges exposées pendant une heure au soleil.

DATES DE L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE au SOLEIL.	PLACE des FEUILLES sur la tige.	POIDS des FEUILLES.	POIDS DE L'EAU recueillie.	POIDS D'EAU p. 100 de feuilles.
			gr.	gr.	
2 juin 1869.....	19°	Haut.....	0.053	0.053	100
		Milieu ...	0.189	0.190	100
		Bas.....	0.135	0.055	40
3 juin	21°	Haut.....	0.055	0.053	99
		Milieu ...	0.195	0.190	97.9
		Bas.....	0.180	0.135	76
6 juin	36°	Haut.....	0.065	0.060	92
		Milieu ...	0.201	0.163	81
		Bas.....	0.132	0.099	75
8 juin	28°	Haut.....	0.051	0.051	100
		Milieu ...	0.185	0.122	66
		Bas.....	0.112	0.085	78
9 juin	36°	Haut.....	0.049	0.048	92
		Milieu ...	0.153	0.120	78
		Bas.....	0.133	0.105	71

On reconnaît, à l'inspection des chiffres précédents : 1° que les jeunes feuilles du sommet récemment développées ont toujours évaporé plus d'eau que les feuilles du bas, et que souvent les différences ont été très considérables; 2° que si une fois la feuille du milieu a fourni un poids égal à celui qu'a évaporé la feuille du haut dans les quatre autres expériences, la feuille du milieu a donné moins d'eau que celle du sommet; 3° enfin que dans quatre expériences sur cinq, les feuilles du bas ont donné moins d'eau que les feuilles du milieu.

Expériences de M. J. Vesque. — M. Vesque s'est également occupé de ce sujet, en y employant un mode d'investigation très élégant, dans lequel on mesure l'absorption de l'eau par la plante

qui le plus habituellement, ainsi que nous avons vu plus haut, peut servir de mesure à la transpiration.

Le principe de l'appareil est le suivant : une plante est enracinée dans un flacon exactement rempli d'eau, portant un tube horizontal rempli d'eau également au début de l'expérience ; la plante emprunte de l'eau au vase et la perte se traduit par le mouvement de l'eau dans le tube horizontal.

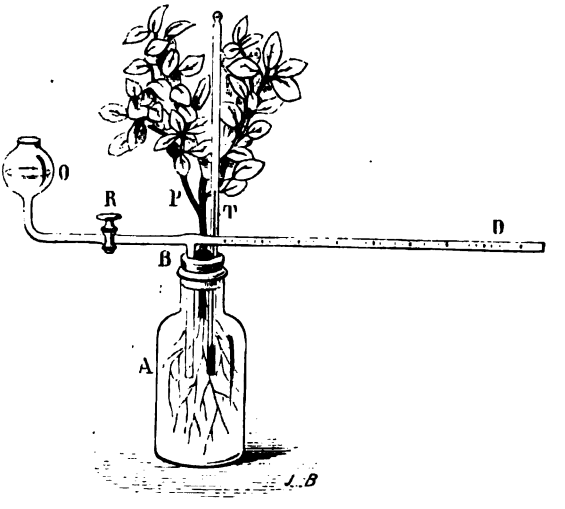


Fig. 42. — Appareil Vesque pour mesurer l'absorption.

L'appareil de M. Vesque (1) était formé d'un tube assez large ouvert aux deux bouts et portant de bons bouchons, le bouchon supérieur laisse passer la tige de la plante enracinée dans l'eau, un thermomètre et un tube capillaire coudé à angle droit et divisé en parties d'égale capacité ; le bouchon inférieur est percé de deux orifices laissant passer deux tubes à robinet de cristal, l'un arrivant jusqu'à la partie supérieure du récipient, l'autre ne dépassant pas le bouchon ; tout l'appareil est maintenu soit dans de l'eau dont on maintient la température constante, soit dans une boîte garnie d'ouate. Cette disposition, qui permet de remplacer les liquides qui doivent servir à l'alimentation de la plante, a été employée par M. Vesque dans son étude sur l'*Influence des matières salines sur l'absorption de l'eau par les racines*.

(1) *Ann. des sc. nat. bot.*, 6e série, t. IX, p. 5. — *Annales agron.*, t. III, p. 321.

Si on veut simplement montrer dans un cours l'influence qu'exerce l'éclairage, le degré hygrométrique de l'air, l'âge des feuilles sur la transpiration, on peut plus simplement employer un petit flacon A (fig. 42), muni d'un bouchon à trois trous : l'une reçoit le rameau P, bien mastiqué, l'autre un thermomètre T, la troisième un tube sur lequel est soudé un tube horizontal dont une branche D est divisée en parties d'égale capacité ; l'autre porte un bon robinet de verre R et un petit entonnoir O ; l'appareil étant exactement rempli d'eau, la pénétration de l'eau dans la plante et son évaporation se traduiront par le mouvement de l'eau dans le tube capillaire ; si on suit d'une part ce mouvement et de l'autre les aiguilles d'une montre à secondes, on peut déterminer le temps employé par l'eau à parcourir un certain nombre de divisions et si on connaît la capacité de chacune de ces divisions, on peut en détruire la quantité d'eau évaporée.

Il est bien à remarquer que cet appareil doit être maintenu à une température invariable ; si la température variait, il fonctionnerait comme un thermomètre très sensible, la capacité du réservoir étant énorme par rapport aux divisions du tube capillaire.

Le flacon étant placé dans une boîte remplie d'ouate pour empêcher les variations de température, on procède aux observations : au soleil l'absorption est rapide, tandis qu'à l'ombre elle se ralentit considérablement, l'appareil est excellent pour les démonstrations à faire dans un cours.

C'est en l'employant que M. Vesque a pu suivre l'influence qu'exerce l'âge des feuilles sur l'activité de la transpiration.

Ayant mastiqué dans le bouchon un rameau de topinambour, et la température étant bien constante, on lit la marche de l'eau dans le tube horizontal, quand l'absorption est régulière, on enlève successivement les feuilles en les coupant avec un rasoir, l'absorption est naturellement ralentie, mais elle l'est plus, quand on enlève les jeunes feuilles, que lorsqu'on coupe des feuilles plus âgées.

« Mes expériences », dit l'auteur, « prouvent que le rapport qui semble si naturel entre la surface des feuilles et la transpiration est complètement masqué par des influences d'un autre ordre parmi lesquelles il faut compter en première ligne l'âge de la feuille. C'est un fait connu depuis longtemps que les jeunes feuilles transpirent plus activement que les feuilles âgées. Mes expériences prouvent de plus que ce ne sont pas les plus jeunes qui transpirent le plus

activement, mais qu'il y a un maximum qui est tombé, dans mon expérience, sur la onzième feuille.

Il est vraisemblable que les résultats varient d'une espèce à l'autre; en effet, M. von Hohnel (1) a observé : que les feuilles les plus jeunes présentent le maximum de transpiration. L'activité de la transpiration diminue d'abord pour se relever ensuite. Elle atteint dans la feuille complètement développée un second maximum moins élevé que le premier et baisse peu à peu jusqu'à la fin de la végétation. »

Expériences de M. von Hohnel. — M. von Hohnel explique les faits observés par les considérations anatomiques suivantes :

Dans la première jeunesse la cuticule tout à fait perméable n'oppose aucune résistance à la transpiration, mais elle s'épaissit rapidement. Si la feuille n'avait pas de stomates, la transpiration, d'abord très active, devrait donc diminuer très rapidement et s'arrêter à un certain minimum.

Mais les choses ne sont pas aussi simples. Les stomates viennent agir précisément en sens inverse de la cuticule. Tandis que la transpiration cuticulaire est très faible dans les vieilles feuilles, la transpiration stomatique augmente sans cesse et n'arrive à son maximum que dans les feuilles complètement développées. Il existe donc nécessairement un minimum au moment où la transpiration cuticulaire est relativement faible et où la transpiration stomatique n'est pas encore bien vive.

Le premier maximum correspond à la transpiration cuticulaire, le minimum réunit les deux transpirations, toutes deux très faibles, le second maximum moins élevé que le premier correspond à la transpiration stomatique (2).

§ 88. — Influence des radiations sur l'évaporation.

Travaux de Guettard. — Ses expériences sont insérées aux *Mémoires de l'Académie des sciences* de 1748 et 1749. Son mode d'observation, que j'ai suivi plus tard, sans me douter que je ne faisais qu'imiter ce naturaliste, dont la réputation est loin d'atteindre le mérite, consistait à enfermer pendant un certain temps des feuilles adhérentes aux plantes dans des ballons de verre qui étaient ensuite pesés avec soin; on déterminait le poids des feuilles, et l'on pouvait ainsi savoir ce qu'une certaine quantité de feuilles avait fourni d'eau dans les circonstances variées où avait lieu l'expérience.

Guettard ne tarda pas à reconnaître que les plantes évaporent plus d'eau pendant le jour que pendant la nuit, et qu'il fallait qu'elles fussent directement frappées par les rayons du soleil pour atteindre leur maximum d'évaporation.

(1) *Ann. agron.*, t. V, p. 308.
(2) Voyez aussi *Ann. agron.*, t. XIII, p. 370, un intéressant mémoire de M. Kohl.

L'influence de ces rayons est particulièrement marquée dans l'expérience suivante : « J'ai mis trois branches de la morelle grimpante ordinaire, ou *Dulcamara*, en expérience le 10 septembre, à sept heures du matin, et on les a retirées le 16 à pareille heure, ce qui fait six jours. Le ballon dans lequel une des branches était placée était à découvert ; celui de la seconde était à l'ombre d'une serviette portée sur quatre pieds, auxquels les quatre coins de la serviette étaient noués ; la serviette de la troisième était appliquée dessus. La branche du ballon découvert avait transpiré 82gr,83, elle pesait 13gr,45; celle du ballon qui était seulement à l'ombre pesait 13gr,39, et elle avait donné, par la transpiration, 43gr,92; celle dont le ballon était exactement couvert n'avait transpiré que 14 grammes, et elle pesait 13gr,41. On voit donc que celle de ces branches qui a été privée le plus des rayons du soleil a moins transpiré, puisque les branches qui étaient dans les ballons couverts ont donné beaucoup moins de liqueur, quoiqu'elles pesassent davantage. Je ne m'attendais pas cependant à avoir une différence si considérable entre le poids de la liqueur transpirée de la branche du ballon qui était à l'air libre et de celle que contenait celui qui était seulement à l'ombre; je pensais que l'air, en circulant autour de ce ballon, ne devait pas être beaucoup moins chaud que celui qui entourait l'autre ballon, et lorsque je vis le résultat de l'expérience, je m'imaginai que l'action immédiate du soleil pouvait être nécessaire pour augmenter la transpiration, et qu'une plante qui serait dans un lieu plus chaud, mais privé des rayons du soleil, pourrait transpirer moins, qu'une qui serait dans un endroit plus froid et qui recevrait ses rayons. »

Expériences exécutées à Grignon. — En employant l'appareil figuré page 280, j'ai obtenu des résultats analogues à ceux de Guettard ainsi que le montre le tableau ci-joint.

Quantité d'eau évaporée en une heure par les feuilles exposées au soleil, à la lumière diffuse ou à l'obscurité.

NUMÉROS DE L'EXPÉRIENCE et nature de la plante.	CIRCONSTANCES de L'EXPÉRIENCE.	TEMPÉRATURE.	POIDS de la FEUILLE.	POIDS DE L'EAU recueillie.	POIDS D'EAU p. 100 de feuilles.
			gr.	gr.	
N° 1. Blé.....	Soleil.....	28°	2.449	2.015	88.2
	Lumière diffuse....	22	1.920	0.340	17.7
	Obscurité.....	22	3.012	0.042	1.1
N° 2. Orge.....	Soleil.....	19	1.510	1.120	74.2
	Lumière diffuse	16	1.215	0.210	18.0
	Obscurité.....	16	1.342	0.032	2.3
N° 3. Blé.....	Soleil.....	22	1.850	1.320	71.8
	Obscurité.....	16	2.470	0.070	2.8
N° 4. Blé.....	Soleil.....	25	1.750	1.320	70.3
	Lumière diffuse....	22	1.810	0.110	6.0
	Obscurité.....	22	1.882	0.015	0.7

Pour bien comprendre comment fonctionnent les appareils employés dans les essais où l'on recueille directement l'eau transpirée dans des vases de verre, je rappellerai encore les deux expériences suivantes exécutées à Grignon en 1869.

Dans un manchon de verre entourant le tube où était fixée la feuille, on dirigea pendant toute la durée de l'expérience un courant d'eau froide (fig. 43). Quand une feuille de blé du poids de

Fig. 43. — Appareil employé pour mesurer la transpiration, quand on refroidit extérieurement le tube de condensation.

0gr,171 fut placée dans l'appareil au soleil, elle donna en une heure 0gr,168 d'eau, c'est-à-dire sensiblement son poids; quand, au contraire, le manchon fut recouvert de papier noir, elle donna seulement 0gr,001 d'eau. Une autre feuille de blé pesant 0gr,182 donna dans le même appareil, au soleil 0gr,171 d'eau, et 0gr,003 à l'obscurité; pendant toute la durée de l'expérience l'eau était à 15 degrés.

Dans une autre expérience, l'eau à 15 degrés fut remplacée par de la glace fondante. Comme l'appareil était au soleil, la glace fon-

dait très vite, et à la partie supérieure du manchon où était placée la feuille, la température oscillait autour de 4 degrés; la feuille pesait 0gr,170. Elle donna en une heure 0gr,185 d'eau, c'est-à-dire 108 d'eau pour 100 de feuilles: c'est le poids le plus considérable qu'on ait obtenu.

Ces dernières expériences démontrent donc que plus le tube de verre est refroidi extérieurement et plus la quantité d'eau condensée est considérable. Si je rappelle, en outre, que M. Maquenne a montré que les feuilles ont un pouvoir absorbant considérable, analogue pour la chaleur obscure à celui du noir de fumée (1), on comprendra aisément comment fonctionne l'appareil dans lequel la feuille est maintenue dans un tube de verre.

La feuille absorbe la chaleur infiniment mieux que le verre, les radiations qui tombent sur le verre et le traversent arrivent à la feuille et y sont absorbées, elles déterminent l'évaporation de l'eau, la vapeur émise rencontrant la paroi relativement froide du tube s'y condense, et cela d'autant mieux que le refroidissement du tube est plus complet; en réalité la feuille et la paroi du tube simulent une chaudière à vapeur et son condenseur.

Si l'appareil fonctionne à la façon d'un producteur de vapeur muni d'un réfrigérant, la proportion d'eau recueillie variera avec les deux facteurs : transformation plus ou moins complète de l'eau de la feuille en vapeur, condensation plus ou moins complète de la vapeur formée sur le verre.

Quand on place le tube contenant la feuille dans un manchon rempli d'eau froide, on perd une partie des radiations absorbées par l'eau et par suite la source de chaleur déterminant l'évaporation de l'eau est amoindrie, mais la condensation est plus complète et la quantité d'eau recueillie est plus considérable.

Si le tube de verre se trouve à une température élevée, ainsi qu'il arrive quand le manchon au lieu de renfermer de l'eau contient une dissolution d'iode dans le sulfure de carbone, la condensation ne se fait plus, et ce mode d'investigation ne peut être employé dans ce cas, mais le tube à feuilles peut encore servir pour observer l'influence des radiations froides de la partie droite du spectre abondante dans la lumière électrique.

En 1881, on a employé comme source lumineuse un régulateur à charbon donnant une lumière évaluée à 2000 bougies.

(1) Le remarquable travail de M. Maquenne est inséré dans le tome VI des *Annales agronomiques*, p. 321, 1880.

Une feuille de maïs placée à environ 2 mètres du régulateur, pesant 1gr,181, donna en trois heures 0gr,080 d'eau. C'est, pour 100 de feuilles, 6,7 d'eau évaporée ou 2,2 pour une heure.

Une autre feuille pesant 1gr,056 donna encore en trois heures 0gr,080 d'eau, c'est 2,5 pour 100 de feuilles évaporant pendant une heure.

Il est donc manifeste que la partie la plus réfrangible du spectre n'exerce qu'une action faible sur l'évaporation, elle ne renferme, en effet, que peu de radiations chaudes.

Il en est autrement de la partie gauche du spectre, c'est ce dont on peut s'assurer en employant la lampe Bourbouze déjà décrite page 89. Sa lumière détermine une évaporation abondante; et parmi ses radiations, celles qui sont obscures sont encore très efficaces; si on interpose sur le passage des rayons une auge remplie d'eau, on intercepte la plus grande partie des radiations chaudes, car l'eau est très athermane, l'évaporation est alors très faible; mais, si on substitue à l'eau un liquide très diathermane laissant passer les rayons obscurs, mais retenant les rayons lumineux, l'évaporation redevient active.

C'est ce qu'a vu très nettement M. Vesque en mesurant les absorptions de plantes soumises aux radiations obcures, c'est ce qu'a reconnu également M. Wiesner; la méthode employée par le physiologiste autrichien (1) consiste à placer une jeune plante enracinée dans l'eau, recouverte d'une couche d'huile pour éviter l'évaporation, sur le plateau d'une balance, puis à faire l'équilibre dans le second plateau; quand il est établi, on enlève 10 milligrammes et on mesure le temps que met le système à revenir à l'équilibre, c'est-à-dire le temps que met la plante à évaporer 10 milligrammes.

En résumé, toutes ces expériences établissent que l'évaporation est déterminée, non pas par l'action de la température extérieure, mais par celle des radiations directes qui viennent frapper les feuilles.

Les expériences précédentes démontrent déjà que ce sont les radiations de la partie gauche du spectre qui sont les plus efficaces, toutefois il convenait de pousser plus loin l'analyse du phénomène et de chercher l'influence des diverses radiations que renferme le spectre lumineux.

(1) *Ann. agron.*, t. III, p. 215.

§ 89. — Influence des divers rayons lumineux.

Daubeny a reconnu depuis longtemps que tous les rayons lumineux ne sont pas également efficaces pour déterminer l'évaporation de l'eau. En opérant sur des feuilles placées dans des tubes entourés de manchons renfermant diverses dissolutions colorées, on arrive facilement à s'en convaincre. On obtient encore les mêmes résultats en employant des dissolutions de couleurs différentes, mais présentant à peu près la même transparence.

Fig. 44. — Appareil employé pour mesurer la transpiration provoquée par diverses radiations.

Les expériences furent faites au mois d'octobre 1869, à l'aide de feuilles de maïs (fig. 44) ; elles ont fourni les résultats suivants :

Évaporation des feuilles de maïs exposées pendant une heure au soleil dans des manchons renfermant des dissolutions diversement colorées.

COULEUR DE LA DISSOLUTION.	POIDS de LA FEUILLE.	POIDS DE L'EAU recueillie.	POIDS D'EAU p. 100 de feuilles.
	gr.	gr.	
Jaune orange (chlorure de fer).....	0.335	0.201	60.6
Rouge (carmin dans l'ammoniaque)	0.200	0.103	51.0
Bleu (sulfate de cuivre ammoniacal).....	0.320	0.130	40.6
Vert (chlorure de cuivre).....	0.300	0.100	33.3

En 1870 on fit usage des rayons du spectre pour reconnaître si les différences signalées plus haut se poursuivaient encore ; malheureusement, bien qu'on opérât par des journées éclatantes de juillet, la réflexion de la lumière sur le miroir de l'héliostat (fig. 45), son passage au travers du prisme, diminuent tellement son intensité, que les résultats obtenus sont très faibles. C'est ainsi qu'après

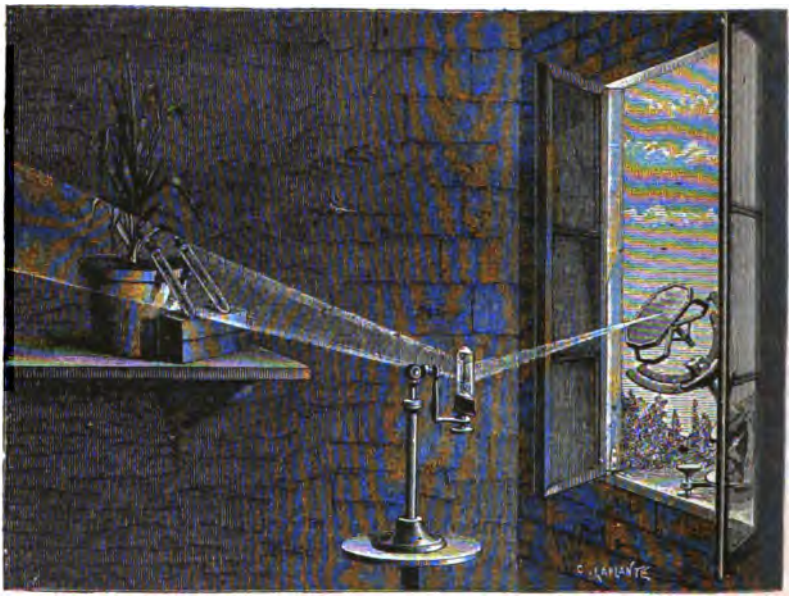


Fig. 45. — Transpiration déterminée par diverses radiations.

une exposition de deux heures dans les rayons jaune et rouge, une feuille de maïs de $0^{gr},432$ donna $0^{gr},010$ d'eau, et qu'une autre feuille de maïs du poids de $0^{gr},390$, maintenue dans la lumière bleue et violette, n'abandonna dans son tube que $0^{gr},001$ d'eau : la différence était bien dans le sens indiqué précédemment, mais le peu d'eau recueillie montre combien la lumière était affaiblie.

Lorsque j'eus constaté, en 1869, que les rayons orangés sont beaucoup plus efficaces pour déterminer l'évaporation que les rayons bleus et verts, je fus naturellement conduit à répéter les anciennes observations qui montraient que ces rayons orangés sont également plus efficaces que les bleus pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique.

J'ai opéré par la méthode des manchons colorés, employant les

mêmes dissolutions pour modifier les radiations destinées à déterminer l'évaporation et la décomposition, j'ai obtenu ainsi dans deux essais différents non comparables l'un à l'autre les résultats suivants :

Influence comparée de divers rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et sur l'évaporation de l'eau des feuilles.

Le manchon renferme.	Quantité d'acide carbonique décomposée en une heure par une feuille de blé pesant 0gr,180. — L'atmosphère renfermait 38,8 d'acide carbonique pour 100 de gaz.	Quantité d'eau évaporée en une heure par une feuille de blé pesant 0gr,170.
Dissolution jaune de chromate neutre de potasse.....	7cc,7	0gr,111 d'eau.
Dissolution bleue de sulfate de cuivre ammoniacal.....	1 ,5	0 ,011 —
	La température était de 37°. La feuille pesait 0gr,172; l'atmosphère renfermait 22,2 d'acide carbonique.	La température était de 30°. La feuille pesait 0gr,172.
Dissolution rouge de carmin dans l'ammoniaque.....	15cc,1	0gr,161 d'eau.
Dissolution verte de chlorure de cuivre.....	La feuille a émis 0cc,9 d'acide carbonique (1).	0 ,010 —

Les expériences précédentes ont été exécutées en 1869, le mémoire qui les renferme se terminait par le paragraphe suivant : « Les rayons rouges et jaunes favorisent l'évaporation, ils favorisent aussi l'assimilation; les verts et les bleus sont sans efficacité sur ces deux actions, et les différences se maintiennent si l'on s'efforce d'opérer à l'aide de rayons présentant la même intensité lumineuse ; enfin l'endroit des feuilles décompose mieux l'acide carbonique que l'envers; de même d'après les observations de Guettard et d'après les miennes, dans certaines plantes au moins, l'évaporation est plus active par la face supérieure que par l'inférieure : il semble donc qu'il y ait entre ces deux actions une liaison occulte qui avait jusqu'à présent échappé aux physiologistes. »

Depuis cette époque, cette liaison a été découverte : nous avons

(1) A la fin de l'expérience, on trouva 23,1 d'acide carbonique au lieu de 22,2.

vu (page 96) que les radiations efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles sont celles qui sont absorbées par la chlorophylle.

Il me paraît évident que les radiations efficaces pour déterminer l'évaporation sont encore celles qui sont retenues par cette chlorophylle, on conçoit très bien qu'elles exercent sur la feuille cette double action de décomposer l'acide carbonique et d'évaporer l'eau, qu'elles exécutent soit un travail chimique, soit un travail calorifique.

M. Wiesner qui le premier a formulé cette proposition : les radiations efficaces pour déterminer l'évaporation sont les radiations absorbées par la chlorophylle, nie la relation que j'ai indiquée entre l'assimilation et l'évaporation, car il croit que le maximum d'évaporation se produit dans le bleu ; ce n'est pas, ainsi qu'on l'a vu plus haut, ce que j'avais observé dans mes premières recherches, et en répétant plus tard mes expériences, je n'ai pas pu, plus que la première fois, trouver que les radiations bleues déterminassent une transpiration plus active que les jaunes.

Je persiste donc à croire que la liaison que j'avais entrevue en 1869 existe en effet, et que les rayons lumineux efficaces pour déterminer la décomposition de l'acide carbonique sont ceux qui favorisent l'évaporation, car ils possèdent la double qualité d'être bien absorbés par la chlorophylle et de posséder assez de force vive pour déterminer : soit la volatilisation de l'eau, soit la décomposition de l'acide carbonique.

Il devenait dès lors probable que si on suivait l'évaporation d'une feuille placée successivement dans l'air et dans l'acide carbonique, on devait trouver que l'évaporation est ralentie dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique, puisqu'une partie des radiations employées à la décomposition rendue très active par l'abondance de l'acide carbonique ne le seront plus à l'évaporation. C'est, en effet, ce qu'on observe très aisément à l'aide des feuilles de graminées, telles que le maïs ou le blé ; mais s'il est facile de voir qualitativement que les feuilles évaporent moins dans une atmosphère enrichie d'acide carbonique que dans une atmosphère qui n'en renferme que des traces, on a rencontré dans la disposition des appareils propres à mesurer simultanément les deux effets, des difficultés qu'on n'a pas encore réussi à lever (1).

(1) *Association française pour l'avancement des sciences*, session de Paris, 1878, p. 1048.

§ 90. — Transpiration a diverses heures de la journée et pendant la nuit.

La transpiration est un phénomène continu, qu'il y a avantage à suivre à l'aide d'appareils enregistreurs ; celui qu'a imaginé M. J. Vesque (1) est très ingénieux : dans l'un des plateaux d'une balance très sensible se trouve un petit verre contenant de l'eau recouverte d'huile. Une plante mastiquée dans un cylindre fixe absolument rempli d'eau puise dans le verre placé sur la balance à l'aide d'un tube capillaire, deux fois recourbé, une quantité d'eau égale à celle qu'elle évapore. Le poids de ce plateau diminue donc par les emprunts que fait la plante à l'eau du vase qu'il porte et le plateau s'abaisse : une petite pointe de platine fixée au-dessous de ce plateau touche alors du mercure contenu dans un petit godet de verre et établit un courant électrique qui passe dans un électro-aimant, celui-ci attire une tige de fer et rend libre le mouvement rotatoire d'une tige sollicitée par un mouvement d'horlogerie. Cette tige porte un robinet imperforé, formé seulement sur les deux côtés opposés, de deux dépressions coniques d'égale capacité. Un petit vase contenant du mercure remplit chacune de ces dépressions, et à chaque tour du robinet 9 centigrammes de mercure tombent dans un vase placé sur la balance. Au même moment un crayon s'abaisse et vient piquer un point sur un demi-disque mis en mouvement régulier par un mécanisme d'horlogerie.

Plusieurs observateurs ont imaginé des appareils destinés à enregistrer l'évaporation, nous devons notamment mentionner l'appareil de M. Rédier qui, sans être aussi sensible que le précédent, car c'est une bascule, rend des services lorsqu'on opère sur des plantes de poids élevé.

M. Vesque a observé à l'aide de son appareil enregistreur que l'évaporation était parfois plus forte pendant la nuit que pendant le jour. Au premier abord ce résultat paraissait paradoxal, M. Marcano a fait cependant sous les tropiques des observations semblables (2) ; ses conclusions ont été les suivantes :

1° Les plantes sous les tropiques évaporent pendant la nuit de six heures du soir à six heures du matin une quantité d'eau sensiblement égale à celle qu'elles évaporent le jour.

(1) *Ann. des sc. nat. bot.*, 6e série, t. VI, p. 186, 1878.
(2) *Ann. agron.*, t. X, p. 477.

2° L'évaporation pendant le jour a lieu principalement le matin. M. Vesque interprète ces résultats de la façon suivante :

« Considérons la plante aux premières heures du matin : une transpiration nocturne active, mais certainement de beaucoup inférieure à celle qui correspond au maximum matinal de M. Marcano, a été non seulement alimentée mais encore dépassée par l'absorption de l'eau du sol ; les éléments ligneux, les parenchymes mêmes se sont gorgés d'eau, la réserve transpiratoire est constituée, réserve qui est dépensée pendant les premières heures du jour ; l'afflux de l'eau aux feuilles se fait d'abord très facilement et la transpiration monte avec l'action des rayons lumineux et calorifiques, la pression de la sève constamment diminuée par la déperdition de l'eau est à son minimum ; mais bientôt les éléments ligneux perdant l'eau qu'ils renfermaient se remplissent d'air, des bulles d'air formant chapelet apparaissent dans les vaisseaux, tout mouvement direct de la colonne d'eau est interrompu, l'eau est obligée de traverser un nombre croissant de parois cellulaires pour arriver aux feuilles, elle y arrive de plus en plus lentement et la transpiration diminue, non pas à cause des modifications des agents extérieurs, mais à cause de la lenteur de plus en plus grande de l'afflux de l'eau. L'endosmose des racines se maintient, mais le départ de l'eau se ralentit, donc la pression de la sève doit augmenter jusqu'à ce que peut-être elle s'oppose elle-même au mouvement osmotique : l'échauffement de l'air inclus dans le tronc en augmente également la pression et s'oppose à l'absorption de l'eau par les racines. Au moment où le soleil se couche, l'air inclus se refroidit, la pression diminue, l'eau se précipite dans les éléments ligneux, les colonnes d'eau se reconstituent peu à peu et la circulation de la sève devient de plus en plus facile, la transpiration devient de plus en plus fonction des agents physiques et lorsque, le matin, le soleil vient frapper les plantes gorgées d'eau, l'évaporation atteint rapidement son maximum. »

§ 91. — Influence qu'exerce la transpiration sur la distribution des espèces.

Les régions chaudes et sèches présentent une flore très différente de celle qu'on observe dans les pays tempérés, les parties de l'Algérie qui ne sont pas arrosées ne portent guère que des plantes à feuillage persistant, dur, coriace, bien adapté pour résister à la sécheresse. des plantes grasses telles que les agaves et les cactus sont employées pour faire les haies, les forêts renferment le chêne vert, les cèdres, les tuyas, etc., ce n'est que dans les pays arrosés, comme à Boufarick par exemple, que s'élèvent les platanes qui y acquièrent de grandes dimensions ; les eucalyptus paraissent supporter assez bien la sécheresse et quoiqu'on les trouve surtout dans la Metidja.

ils couvrent les talus du chemin de fer dans des endroits où l'eau est médiocrement abondante (1).

Dans les pays tout à fait secs, comme le désert arabique qui s'étend au sud du Caire entre le Nil et la mer Rouge, M. Volkens (2) a trouvé surtout des plantes qui parcourent les phases de leur évolution pendant le temps très court qui est favorable, puis se réduisent le reste de l'année à une vie latente en formant des bulbes, des rhizomes et des graines qui résistent à la saison sèche.

Un des caractères les plus saillants des plantes du désert, c'est la longueur demesurée des racines. M. Volkens n'a jamais réussi à déterrer entièrement une seule plante vivace; tout ce qu'il a pu constater, c'est qu'à 1 ou 2 mètres de profondeur la racine était plus mince qu'au collet. Un exemplaire de *Calligonum comosum*, dont les parties aériennes ne dépassaient pas la longueur de la main, avait une racine de la grosseur du pouce. A 1^{m},50 de profondeur, la racine était encore de la force du petit doigt, de sorte qu'il faut admettre que la longueur de la racine dépasse au moins vingt fois celle de la partie aérienne. Certaines plantes ne doivent leur existence dans ces contrées brûlées qu'à la longueur extrême de leur système radiculaire. C'est ainsi que la coloquinte avec ses grandes feuilles délicates dépourvues de toute protection contre la transpiration résiste dans ce milieu où un rameau détaché de la même plante se fane en cinq minutes.

D'autres espèces, telles que certains Erodiums, produisent le long de leurs racines des renflements en forme de tubercules, protégés vers l'extérieur par d'épaisses couches de liège, et qui ne sont autre chose que des réservoirs d'eau, car l'amidon ne s'y accumule qu'en quantité insignifiante.

La *Reaumuria hirtilla*, petit arbuste de 0^{m},70 de hauteur, résiste à la sécheresse par une adaptation très particulière : immédiatement après la saison des pluies, les feuilles se recouvrent d'un liquide amer qui en se desséchant y dépose des masses cristallines tellement abondantes, qu'elles prennent un aspect grisâtre. Ces cristaux sont hygroscopiques et la nuit ces singulières plantes sont absolument trempées d'eau, tandis que tout est desséché dans le voisinage. Si on coupe deux rameaux de Reaumuria et qu'on enlève l'enduit salin de l'un d'eux, on peut conserver le rameau intact pendant quatorze jours sans qu'il se fane, tandis que celui qui n'a plus d'enduit est tout à fait sec le lendemain.

Bon nombre de graminées, et y compris le Maïs et le Blé, renflent un ou plusieurs entre-nœuds courts de la base pour y emmagasiner une certaine quantité d'eau. On connaît depuis longtemps des races ou variétés bulbeuses de diverses graminées (Paturin bulbeux, avoine élevée bulbeuse, etc.). Il n'y a pas la moindre trace de matière solide de réserve dans ces renflements (3).

(1) Ils résistent mal aux hivers rigoureux ; dans la province de Constantine, j'ai vu des plantations détruites par le long et dur hiver 1890-91.

(2) *Ann. agron.*, t. XII, p. 484.

(3) Nous avons cité à diverses reprises dans le cours de ce chapitre les travaux de M. J. Vesque relatifs à la transpiration, il convient de rappeler en outre son important mémoire sur les *réservoirs d'eau des plantes* (*Ann. agron.*, t. XII, p. 449 et 497).

Résumé des phénomènes de transpiration. — Les faits exposés dans ce chapitre comprennent les propositions suivantes :

L'eau est puisée dans le sol par les racines qui s'appliquent exactement sur les molécules terreuses de façon que par endosmose l'eau passe du sol dans les tissus ; cette adhérence de la racine au sol est particulièrement favorisée par les poils qui sont essentiellement des organes d'absorption.

La capillarité et l'endosmose sont les forces qui déterminent le passage de l'eau du sol à la racine.

L'eau s'élève dans la plante par les vaisseaux, dans ceux-ci on observe souvent une pression inférieure à la pression atmosphérique.

L'eau qui gorge les tissus s'évapore dans l'air, et la quantité qui circule dans une plante herbacée est énorme ; on estime qu'une plante herbacée évapore de 250 à 300 litres d'eau pendant le temps qu'elle met à élaborer un kilogramme de matière sèche.

Les plantes à feuillage caduc évaporent beaucoup plus d'eau que celles qui ont des feuillages persistants.

La transpiration est déterminée par les radiations directes ; toutes les radiations ne sont pas également efficaces pour déterminer la transpiration, les plus actives sont les radiations chaudes bien absorbées par la chlorophylle.

Il arrive que la transpiration soit égale, plus forte ou plus faible que l'absorption ; quand elle est plus forte, les plantes se fanent ; quand elle est plus faible, on voit les gouttelettes perler à l'extrémité des feuilles, ou encore la sève s'écouler par les blessures du tronc.

On observe parfois dans les pays chauds que l'évaporation est plus forte pendant la nuit que pendant le jour ; il faut concevoir que dans ce cas les gaz contenus dans les vaisseaux dilatés par la chaleur s'opposent à l'arrivée de l'eau dans les organes d'évaporation.

Dans les pays secs on rencontre surtout des plantes à feuillages persistants, qui n'ont qu'une faible évaporation, ou encore des plantes à feuilles caduques qui résistent à l'évaporation par un développement considérable de la racine, ou enfin s'adaptent à la sécheresse en formant par le renflement de quelques-uns de leurs tissus des réservoirs d'eau.

CHAPITRE X

ACCROISSEMENT ET MATURATION.

Après avoir analysé séparément chacune des fonctions des végétaux, avoir successivement exposé le réveil de la vie dans la graine, le tubercule ou le bourgeon, étudié l'assimilation du carbone, de l'azote, des matières minérales, avoir cherché comment ces éléments s'associent pour former des principes immédiats, avoir vu enfin l'eau puisée dans le sol, s'élever dans les tiges et s'évaporer dans les feuilles, il nous faut, dans le dernier chapitre de cette première partie, réunir les notions acquises et comprendre comment les diverses fonctions végétales, d'abord étudiées séparément, concourent à l'accroissement de la plante, et à la production de la graine, cette fin dernière des végétaux annuels, à la formation des réserves qu'accumulent dans leurs tiges les végétaux vivaces.

Quand cette étude porte sur les espèces annuelles, elle s'applique d'abord à la plante entière; on cherche par des pesées, exécutées à intervalles réguliers, sur des sujets prélevés dans un champ bien homogène, comment varie, à mesure des progrès de la végétation, le poids d'un pied ou celui de la récolte développée sur une surface déterminée. En outre, les analyses exécutées sur chacun des échantillons recueillis successivement montrent : quels changements surviennent : 1° dans la composition de la matière sèche; 2° dans celle d'un pied entier ou mieux de la récolte développée sur une surface prise comme unité.

Aussitôt que les organes de reproduction apparaissent, il devient nécessaire de peser et d'analyser séparément ces nouveaux organes et le reste de la plante; ces pesées et ces analyses rapportées soit aux deux fractions : inflorescences et tiges qui constituent la plante entière, soit au poids de ces deux parties, dans lesquelles se partage la récolte d'un hectare, montrent clairement que la maturation consiste essentiellement dans le transport des principes élaborés par les feuilles, jusque dans les ovules fécondés. Ces principes viennent s'accumuler dans la graine autour de l'embryon pour lui fournir les matériaux nécessaires à la formation des organes nouveaux, et assurer la perpétuité de l'espèce.

Cette accumulation, sous un petit volume, de tous les produits de l'activité végétale, c'est-à-dire des hydrates de carbone, des matières grasses et des matières azotées qui sont précisément les aliments d'un grand nombre d'espèces animales, qui, en outre, entrent toujours pour une forte proportion dans l'alimentation humaine, explique comment l'industrie agricole porte essentiellement ses efforts vers la culture des plantes qui créent des réserves : elles se trouvent dans les graines et nous cultivons le blé, le seigle, le maïs, l'orge, l'avoine, le sarrazin, le pois, le haricot qui renferment à la fois des matières azotées et de l'amidon, ou encore le colza, la navette, l'œillette qui contiennent des huiles ; si notre activité se porte sur la culture des pommes de terre, des topinambours, des ignames, c'est que leurs tubercules sont des organes de reproduction de l'espèce dans lesquels les réserves se sont accumulées pour nourrir les jeunes bourgeons. Si enfin la betterave couvre d'énormes espaces dans la région septentrionale de l'Europe, c'est que la racine est chargée du sucre élaboré pendant la première année de la vie, qui doit servir à la saison suivante à l'élaboration des tiges qui se couvriront de fleurs et de fruits.

L'exploitation des réserves qu'entasse la plante dans les organes destinés à assurer la propagation de l'espèce est donc l'essence même de l'industrie agricole.

Comment la plante crée-t-elle ces réserves ? comment les réunit-elle dans les organes de reproduction ? C'est ce que nous étudions dans ce chapitre.

DÉVELOPPEMENT DE LA PLANTE HERBACÉE.

§ 92. — Premier age, prédominance de la racine.

Le premier organe qui apparaît, quand une graine entre en germination, est la racine ; si on arrache avec précaution une plante encore très jeune, on reconnaît que le poids de la racine est considérable par rapport à celui de sa tige ; c'est ce que nous avons nettement établi M. Bréal et moi, dans le travail que nous avons consacré, il y a déjà plusieurs années, à l'étude de la *maturation de quelques plantes herbacées* (1). En pesant séparément la racine

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 161.

et la tige desséchées de quelques plantes à évolutions rapides, nous avons trouvé que si on fait la tige égale à 100, le poids de la racine est compris dans le jeune âge entre 9 et 11 et peut même s'élever à 23,6 pour le *Colinsia bicolor*. En général, quand la plante avance en âge, le poids de la racine sèche n'est plus représenté que par 4 ou 5, celui de la tige étant toujours égal à 100.

Les matières minérales, les nitrates origine des matières azotées, l'eau enfin sont puisées dans le sol par la racine, aussi les principes qui tirent leur origine de l'activité de la racine sont-ils particulièrement abondants dans le premier âge ; on a trouvé à cette époque 94 p. 100 d'eau dans le *Colinsia bicolor*, 90 à 80 p. 100 dans le *Delphinum Ajacis*, le *Sinapis alba*, etc., les matières azotées sont également en proportions considérables, elles forment parfois le cinquième du poids total ; on a trouvé dans un échantillon d'avoine recueilli le 15 avril : 33,56 de matières azotées pour 100 de matière sèche.

Cette excessive richesse des jeunes plantes en matières azotées permet de comprendre combien elles sont nourrissantes et l'on conçoit que les animaux maintenus sur les prairies où ils paissent l'herbe à mesure qu'elle apparaît, qui, par suite, se nourrissent de plantes tendres, renfermant d'énormes proportions de matières azotées, se développent rapidement.

A mesure que la plante avance en âge, la proportion centésimale des matières azotées diminue, bien que leur quantité totale augmente dans la plante entière.

L'*Hesperis maritima* en fournit un bon exemple :

	Matières azotées		Cendres	
	dans 100 parties de matière sèche.	dans une plante entière.	dans 100 parties de matière sèche.	dans une plante entière.
12 juin	26.3	0.062	24.3	0.06
9 juillet.....	18.2	0.150	15.3	0.13
28 —	14.2	0.312	12.4	0.29
5 août.....	14.3	0.375	8.9	0.22

Les chiffres qui indiquent la proportion des matières minérales contenues dans les jeunes plantes sont donc aussi très élevés; les cendres forment parfois le cinquième de la matière sèche (*Colinsia bicolor, Delphinum Ajacis*), et on pourrait répéter pour les matières minérales ce que nous venons de dire pour les matières azotées : leur proportion centésimale va en diminuant, bien que la quantité

totale, dans une tige, augmente à mesure que la plante avance en âge et qu'elle atteint tout son développement.

Ce qui achève de caractériser la composition des jeunes plantes herbacées est l'abondance des matières précipitables par le sous-acétate de plomb (gommes, tannins); elles forment souvent 15 p. 100 de la matière sèche totale; c'est enfin la faible proportion des hydrates de carbone, sucres, amidon, cellulose, qui plus tard forment (froment, avoine, etc.) plus des deux tiers de la plante entière.

§ 93. — Deuxième age, prédominance de la feuille.

Si, pendant la première période de la vie, la plante herbacée est très chargée de matières azotées et de matières minérales, montrant que son poids s'augmente surtout par les apports des matériaux puisés dans le sol par la racine, elle a commencé cependant à développer ses organes aériens; bientôt, la fonction chlorophyllienne entre vigoureusement en jeu, les hydrates de carbone sont produits en grande quantité, leur élaboration est plus rapide que l'assimilation des nitrates ou des éléments des cendres et la proportion centésimale de l'azote et des matières minérales diminue, bien que leur poids dans la plante entière augmente sans cesse.

Le *Sinapis nigra*, qui renfermait le 7 juin dans 100 parties de matières sèches, 18,2 de cendres et 27,8 de matières azotées, n'accuse plus le 19 juin que 13,1 de cendres, 21,2 de matières azotées, et cependant une tige entière ne renfermant le 7 juin que $0^{gr},111$ de matières minérales, en contient $0^{gr},290$ le 19; on dosait le 7 juin: $0^{gr},168$ de matières azotées dans la plante entière, tandis que le 19 juin on en trouvait $0^{gr},887$.

Les cendres dans 100 parties de matière sèche de l'*Eschscholtzia californica* représentent 16,6 le 3 juillet et 12,8 le 29 juillet: dans la plante entière elles pèsent $0^{gr},54$ le 6 juillet et $2^{gr},7$ le 29; la matière azotée pèse 26,8 dans 100 de matière sèche le 9 juillet et 18,75 le 29; dans la plante entière $0^{gr},875$ le 3, et 2 grammes le 29.

On pourrait multiplier ces exemples, les précédents suffisent à faire comprendre que si les deux organes qui concourent à l'accroissement de la plante, la feuille et la racine, fonctionnent l'un et l'autre énergiquement; pendant cette seconde période la

feuille apporte à l'ensemble une masse de matériaux plus considérable que la racine; cette grande activité de la cellule à chlorophylle des organes jeunes nous est connue, nous avons vu au chapitre *Assimilation du carbone,* que les jeunes feuilles, particulièrement à la température de 25°, décomposent l'acide carbonique avec une énergie beaucoup plus grande que les feuilles plus âgées, sans doute parce qu'elles renferment plus d'eau, et qu'elles absorbent l'acide carbonique plus aisément; or à cette époque de leur vie les plantes sont gorgées d'eau, le *Sinapis nigra* en renferme 91 centièmes le 7 juin, 85 le 19; l'*Eschscholtzia californica*, 88,1 le 3 juilllet, 91,7 le 15 juillet, 87,4 le 29; aussi le poids de la matière sèche passe-t-il pour la première de ces plantes de 0^{gr}.61 le 3, à 2^{gr},22 le 19 juin, et 6^{gr},1 le 4 juillet; pour la seconde, l'accroissement n'est pas moins rapide, une tige sèche pèse 3^{gr},28 le 3 juillet, 5 gr. le 15 et 10^{gr},7 le 29 juillet.

Pendant cette seconde partie de sa vie, la plante grandit, s'accroît, mais bientôt commence la troisième période, celle de la floraison, immédiatement suivie de la maturation. Elle comprend, dans les plantes cultivées pour leur graine, deux actes successifs: la plante fleurit, les organes mâles et femelles apparaissent; dans l'organe femelle naissent les ovules qui ne se développeront et n'arriveront à l'état de semences parfaites, à l'état de graines, qu'autant qu'ils auront subi l'action de l'organe mâle; le premier acte de la maturation est donc la fécondation; suivant qu'elle s'accomplit régulièrement ou qu'elle est traversée par des intempéries, les récoltes sont abondantes ou misérables et on comprend que, bien que son étude ressortisse de la botanique plus que de la chimie agricole, nous devions en esquisser le mécanisme en nous bornant à en marquer les traits essentiels.

Quand cette fécondation est accomplie, commence le transport des principes élaborés, jusque dans les ovules fécondés; cette migration est le dernier acte de la vie de la plante annuelle, de sa perfection dépendent l'abondance et la qualité de la récolte, l'étude de son mécanisme présente donc le plus haut intérêt.

§ 94. — Troisième partie de la vie de la plante herbacée. — floraison et maturation.

Fécondation. — L'organe femelle de la fleur, le *pistil*, bien qu'il varie de forme à l'infini, comprend essentiellement trois parties

distinctes, l'*ovaire* souvent renflé et renfermant les *ovules* sur lesquels doit s'exercer l'influence de l'organe mâle, le *style*, sorte de colonne rétrécie que surmonte le *stygmate*. C'est sur sa surface souvent poisseuse, que vient se déposer le *pollen*, grain jaunâtre contenu d'abord dans un sac nommé l'*anthère* qui est la partie la plus importante de l'*étamine* ou organe mâle.

Le grain de pollen déposé sur le stygmate y germe, c'est-à-dire y développe un tube, qui dans les conditions normales s'engage dans un tissu particulier du style : le tissu conducteur y rampe, dissout et assimile les cellules auprès desquelles il se glisse et s'allonge jusqu'à atteindre l'ovaire, où il s'introduit pour rencontrer le micropyle de l'ovule, et enfin y pénétrer ; le protoplasma mâle s'unit à ce moment au protoplasma femelle, la fécondation a lieu.

Dans un certain nombre d'espèces hermaphrodites, cette fécondation se produit dans la fleur fermée, c'est ce qui arrive pour le blé; quand les anthères sortent des enveloppes, que suivant l'expression consacrée le blé est en fleurs, en réalité tout est terminé, la fécondation a été accomplie.

Très souvent cependant, les fleurs sont largement ouvertes et les insectes contribuent à la fécondation (1) : en pénétrant dans la corolle pour chercher le nectar, ils se couvrent de pollen et dans les mouvements qu'ils exécutent dans l'intérieur de la fleur ou à leur sortie frôlent les stygmates et y déposent du pollen provenant de la fleur même qu'ils viennent de visiter, d'individus de même espèce ou même d'espèces voisines, ce qui occasionne des croisements et l'apparition des hybrides.

Quand, au lieu d'être hermaphrodites, les fleurs sont mâles ou femelles, elles peuvent être portées sur le même pied ou sur des sujets différents, presque toujours alors la fécondation est favorisée par quelques dispositions spéciales, souvent le pollen est très abondant, c'est ce qui a lieu pour le pin, ce pollen transporté par les vents, de forêts même lointaines, couvre parfois la surface du sol d'une poudre jaune foncée, d'où la fable des *pluies de soufre*.

Dans le maïs non seulement la fécondation est assurée par une production abondante de pollen, par la position des fleurs mâles placées au-dessus des fleurs femelles, mais aussi par la dimension

(1) On assure que dans les pays où les abeilles sont nombreuses, l'apiculture florissante, les rendements des vergers sont beaucoup plus élevés que dans les contrées où ces insectes sont rares.

et la viscosité des pistils qui s'allongent en dehors de l'épi en forme de chevelure.

Quand les plantes ne portent que des fleurs mâles ou des fleurs femelles, il est souvent utile de procéder à une fécondation artificielle; c'est ce que font les cultivateurs des dattiers qui montent dans les arbres femelles pour secouer sur les fleurs un bouquet de fleurs mâles.

La production des hybrides est due souvent, ainsi qu'il a été dit, aux visites des insectes, elle est fort à craindre pour certaines variétés qu'il est avantageux de maintenir pures; il faudrait se garder par exemple, dans un champ de porte-graines de betteraves, de placer à côté les unes des autres des racines appartenant aux Vilmorin améliorées et aux betteraves peu sucrées à gros rendements.

La production des hybrides peut au contraire être avantageuse pour former des races nouvelles; M. H. de Vilmorin et plus récemment M. Gatelier se sont occupés de la création des hydrides dans le froment, et on sait combien la création des hybrides issus de diverses variétés de vigne a été profitable.

Une fécondation régulière est une condition nécessaire à l'abondance des récoltes; elle est parfois contrariée par les intempéries; si par un temps très humide les grains de pollen tombent sur un stygmate mouillé, ils peuvent germer à la surface de ce stygmate sans pénétrer dans le tissu conducteur, sans par suite que le boyau pollinique atteigne le micropyle de l'ovule. La fécondation n'a pas lieu : on dit que les *fleurs ont coulé.*

§ 93. — Des changements qui surviennent dans le poids de la matière sèche des plantes herbacées.

La production de la graine, fin dernière de l'existence des plantes herbacées, exige l'arrivée dans les ovules fécondés des matériaux qui doivent assurer l'existence de l'embryon au commencement de son évolution; la graine reçoit ces matériaux, des feuilles qui les ont élaborés, la maturation est donc essentiellement un transport des principes formés pendant la première partie de la vie, et qui séjournent jusqu'à la floraison dans les cellules.

Ces principes sont de deux ordres : des hydrates de carbone tels que l'amidon, des matières albuminoïdes entraînant avec elles les phosphates; on rencontre dans certaines espèces, ainsi

qu'il a été dit plus haut, d'importantes réserves d'amidon, on en trouve notamment en quantités notables dans les tabacs, dans la ciguë, etc.; si cet amidon quitte les cellules, s'en échappe, sans leur causer aucun dommage, il n'en est plus ainsi des matières azotées; on ne constate pas dans les cellules des matières azotées de réserve, si ce n'est parfois des nitrates et habituellement la seule matière azotée qu'elles renferment constitue le protoplasma lui-même, la partie vivante de cette cellule; ce protoplasma prend au moment d'émigrer une forme de voyage, se dissout, disparaît, on conçoit que cette disparition cause à la cellule un dommage irréparable, qu'elle cesse de fonctionner, qu'elle périsse, et que par suite la maturation qui entraîne la dissolution et la migration de la matière azotée occasionne par la mort des cellules à chlorophylle, véritable laboratoire de la plante, un affaiblissement dans la plante entière qui se traduira par une diminution de son poids.

Si la manière de voir que nous venons de développer est exacte, on devra trouver cet affaiblissement variable d'une plante à l'autre, suivant que la floraison sera abondante ou restreinte, que toutes les fleurs apparaîtront simultanément ou qu'au contraire elles ne s'épanouiront que lentement les unes après les autres.

Pour réussir à montrer clairement que la maturation entraîne un affaiblissement de la plante entière, il convenait de mettre en observations un certain nombre de plantes herbacées à évolution rapide, de façon à s'assurer : que les pesées, indiquant les poids des individus à différents âges, rapprochées des observations sur l'apparition des fleurs, sur leur abondance par rapport aux feuilles, justifieraient les idées émises en tête de ce paragraphe; c'est ce que nous avons fait M. E. Bréal et moi, et nous allons résumer les résultats auxquels nous a conduits cette étude (1).

Colinsia bicolor. — Le tableau ci-joint nous servira à montrer comment ont été dirigées ces recherches, il indique les diverses époques des prises d'échantillon, les poids des plantes entières, celui de la tige et de la racine, à l'état normal et à l'état sec, d'où l'on déduit la quantité d'eau que renferment ces organes; on a dosé, en outre, les cendres et l'azote, enfin on a joint aux pesées exécutées à diverses époques quelques observations sur l'état de la plante.

(1) *Ann. agron.*, t. VII, p. 162, 1881.

Développement du Colinsia bicolor.

Poids d'une graine : 0gr,001.

MATIÈRES DOSÉES.	11 JUIN.	20 JUIN.	30 JUIN.	12 JUILLET.	22 JUILLET.	29 JUILLET.	25 AOÛT.
Poids d'une plante normale.....	gr. 2.019	gr. 2.90	gr. 5.37	gr. 5.68	gr. 3.3	gr. 2.9	gr. 0.71
Poids d'une tige normale.....	1.870	2.76	5.26	5.75	3.09	1.75	0.64
Poids d'une racine normale.....	0.149	0.14	0.11	0.11	0.21	0.15	0.07
Poids d'une tige sèche.	0.11	0.35	1.47	0.99	0.86	0.84	0.45
Poids d'une racine sèche.	0.037	0.03	0.024	0.023	0.04	0.04	0.028
Poids de la racine p. 100 de tige.....	33.6	8.6	1.6	2.3	4.6	4.7	6.2
Eau p. 100 dans la tige.	94.2	87.4	72.1	82.7	72.1	52.0	29.7
Eau p. 100 dans la racine.	75.2	75.2	79.0	79.0	80.9	73.3	60.0
Cendres dans 100 parties de matière sèche.....	21.2	15.11	11.8	11.1	12.2	10.50	11.1
Cendres dans la tige entière.....	0.023	0.052	0.173	0.109	0.104	0.09	0.05
Azote dans 100 parties de matière sèche	4.14	2.49	2.5	2.26	2.14	1.37	1.6
Azote dans la tige.....	0.004	0.008	0.036	0.022	0.018	0.012	0.007
Observations sur l'état de la plante.....	.....	.....	Fleuri.	Fleuri, portant quelq. graines.	Presque défleuri.	Graines tombées, quelq. tiges enc. vertes.	Presque desséché.

Un fait frappe tout d'abord, c'est l'élévation du rapport du poids de la racine à celui de la tige dans le jeune âge. Le 11 juin au moment de la première observation, ce rapport est de 0.33, pour tomber à 0.08 le 30 juin et encore plus bas aux prises d'échantillon suivantes ; on conçoit, ainsi qu'il a été dit déjà, que pendant cette première période, l'influence de la racine se fasse nettement sentir sur la composition de la plante et que les éléments qu'elle apporte : cendres et matières azotées, atteignent une proportion qu'ils ne retrouveront plus aux observations suivantes; peu à peu en effet les cellules à chlorophylle commencent à fonctionner énergiquement, et le 30 juin, bien que les cendres et l'azote se soient beaucoup accrus dans la partie aérienne, les hydrates de carbone se sont développés avec tant d'abondance que les cendres ne forment plus guère que le dixième du poids total et les matières azotées seulement 15 p. 100.

A la prise d'échantillon du 30 juin la jeune plante est complète-

ment couverte de fleurs, c'est le moment où elle atteint son maximum de poids ; le transport des principes vers les ovules commence et dès le 12 juillet la diminution de poids est sensible ; son dépérissement d'abord rapide se continue lentement jusqu'à la dessiccation

Fig. 46. — Développement du *Colinsia bicolor*, poids de la tige en décigrammes.

finale, ainsi que le montre la courbe ci-jointe, dans laquelle les dates sont portées aux abscisses et les poids des tiges sèches aux ordonnées.

Delphinum Ajacis. — Le *Delphinum Ajacis* est complètement fleuri le 15 juillet au moment de la seconde prise d'échantillons :

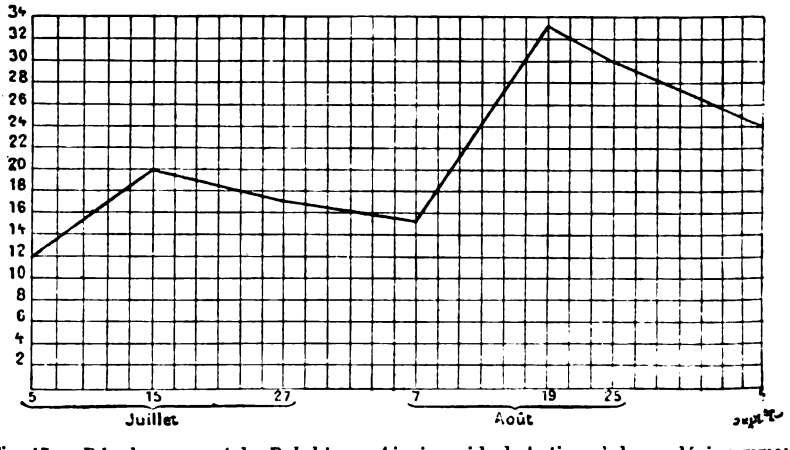


Fig. 47. — Développement du *Delphinum Ajacis*, poids de la tige sèche en décigrammes.

pendant les trois semaines suivantes, son poids diminue légèrement et cette diminution correspond au moment de la maturation ; mais les exigences des ovules fécondés, suffisantes pour affaiblir la plante,

n'ont pas amené un dépérissement complet, comme dans le cas précédent, et quand la période critique est passée la plante reprend une nouvelle vigueur et le poids de la matière sèche augmente considérablement du 7 au 19 août, ainsi que le montre la courbe ci-jointe (fig. 47).

Pendant la première période qui va jusqu'à la floraison complète la proportion d'eau contenue dans la plante est considérable, mais dès le 28 juillet la racine commence à se dessécher; la dessiccation a fait des progrès sensibles le 7 août au moment du minimum de poids; la reprise qui a lieu plus tard se traduit non seulement par l'augmentation de poids de la tige, mais aussi par une élévation dans la proportion d'eau de la racine; des radicelles nouvelles se sont formées et le taux pour 100 de l'humidité remonte à 62.9.

Cette activité de la racine se traduit par une augmentation dans la quantité de cendres et de matières azotées contenues dans la plante entière.

Les notes de culture indiquent bien que la période d'affaiblissement correspond à la maturation, tandis que lorsqu'on observe, du 7 au 19 août, une recrudescence de végétation, et que le mouvement ascensionnel est arrivé à son maximum, les graines sont mûres, elles commencent à tomber le 25 août.

Sinapis alba. — Les nombres fournis par les pesées du *Sinapis alba* sont également intéressants, nous nous bornerons cependant à les résumer brièvement : du 29 mai au 6 juin le poids de la tige sèche passe de 6 décigrammes a 16; elle ne triple pas son poids; du 6 juin au 16, la croissance s'accélère, de 16 décigrammes le poids de tige sèche s'élève à 86 décigrammes; à ce moment la plante est en pleine floraison; or, du 16 juin au 12 juillet, l'accroissement n'est plus que de 49 décigrammes; au lieu de suivre son mouvement ascensionnel régulier la courbe se rapproche de l'horizontale; le 12 juillet, les siliques sont complètement formés et la recrudescence de végétation se manifeste rapidement : au 31 juillet la plante sèche pèse 25^{gr},60, elle a doublé son poids (fig. 48).

Nous avons donc là trois exemples différents d'influence de la maturation sur le poids de la matière sèche; et on conçoit facilement comment, d'une espèce à l'autre, le transport des principes immédiats des feuilles vers les graines conduit à des résultats fort différents.

Si, comme dans le *Colinsia bicolor*, une tige médiocrement garnie

de feuilles petites et assez menues se couvre de fleurs nombreuses qui apparaissent toutes ensemble ; l'appel des matières azotées sera suffisant pour déterminer le départ du protoplasma d'un grand nombre de cellules à chlorophylle, par suite leur mort, bientôt

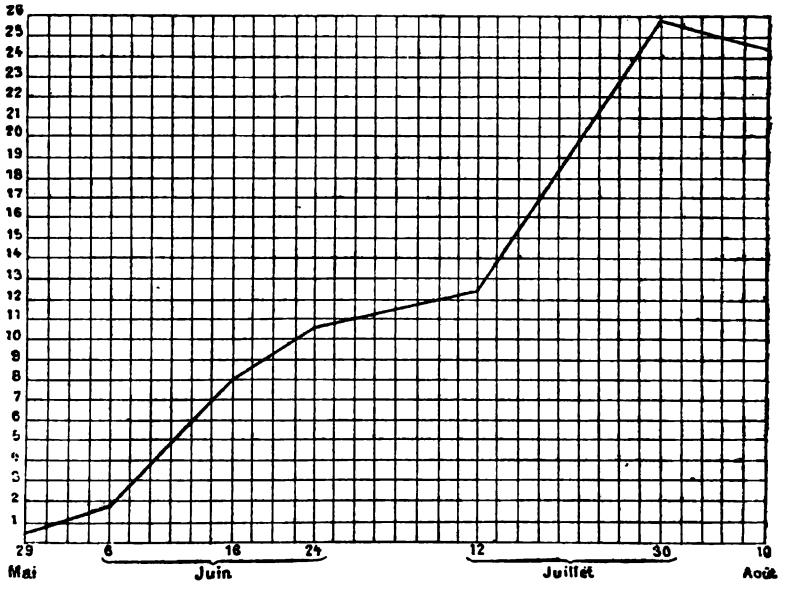


Fig. 48. — Développement du *Sinapis alba*, poids de la plante sèche en grammes.

suivie de la chute des feuilles qui les renfermaient, la plante éprouvera un dommage irréparable, la maturation des graines sera le prélude de l'affaiblissement qui amène la mort.

Si la floraison est moins abondante, que les feuilles soient plus nombreuses par rapport aux fleurs que dans le cas précédent, si encore la floraison est successive, l'appel des matières azotées est moins rapide, toutes les cellules à chlorophylle ne sont pas vidées, il en reste un nombre suffisant pour soutenir la végétation de la plante, qui n'éprouvera qu'un affaiblissement coïncidant avec l'époque où la migration sera la plus active ; pendant cette période les organes desséchés, flétris, qui se séparent de la plante ne seront remplacés que par un nombre plus faible d'organes nouveaux, et l'on observera pendant toute la durée de la crise une diminution dans le poids de la plante, c'est ce que nous montre la courbe du *Delphinum Ajacis* du 15 juillet au 7 août, époque pendant laquelle elle descend vers les abscisses ; mais bientôt l'élaboration des prin-

cipes immédiats par les feuilles restées intactes surpassera la déperdition des organes flétris et la plante non seulement retrouvera son poids primitif, mais le dépassera même d'une grande quantité.

Enfin si la plante est très bien développée au moment de la floraison, si cette floraison est peu active, les fleurs n'apparaissent que peu à peu, les unes après les autres, la maturation n'empêchera pas l'augmentation de poids du végétal et le transport ne sera marqué, comme dans le *Sinapis alba*, que par un ralentissement dans l'accroissement du poids de la matière sèche; la courbe ne s'inclinera plus vers les abscisses, mais cependant le temps d'arrêt correspondant à la crise sera encore nettement marqué du 24 juin au 12 juillet.

Les études précédentes ont conduit à classer les plantes herbacées en trois groupes distincts :

A. Les plantes qui diminuent de poids aussitôt après la floraison, et qui éprouvent un dépérissement graduel jusqu'à la mort (*Colinsia bicolor*, *Sinapis nigra*);

B. Les plantes qui éprouvent un affaiblissement qui se traduit par la diminution de la matière sèche, mais qui conservent pendant la maturation assez de vigueur pour montrer une recrudescence de végétation (*Eschscholtzia californica*, *Delphinum Ajacis*, *Convolvulus tricolor*, *Clarkia elegans*);

C. Les plantes qui continuent à augmenter de poids pendant qu'elles mûrissent leurs graines (*Sinapis alba*, *Silene pendula*, *Hesperis maritima*, *Papaver somniferum*).

C'est encore dans cette dernière catégorie qu'il faut placer les plantes de grande culture sur lesquelles nous possédons des observations suivies. Boussingault a trouvé pour le poids moyen d'un pied de *blé* desséché :

Le 19 mai avant la floraison.....	0gr,62
Le 9 juin, en fleur.....	2 ,36
Le 15 août, le plant chargé de grain.....	4 ,18

J'ai trouvé en 1880 pour la matière sèche d'un hectare d'avoine cultivé sans engrais depuis plusieurs années :

6 juillet.....	2157 kilos.
12 —	2749 —
18 —	3380 —
7 août.....	4907 —

Il arrive cependant, quand les observations sont multipliées, qu'on observe un arrêt de développement pendant les dernières semaines et, en outre, très rapidement après la maturation, une diminution de poids sensible, due à la chute des organes et à leur combustion.

Voici quelques-unes des observations d'Isidore Pierre :

Poids de la récolte sèche d'un hectare de blé.

31 mai	1417k,01
3 juin	3145 ,86
22 juin	5684 ,11
6 juillet	6076 ,31
25 juillet	6040 ,21

Ainsi, du 6 juillet au 25, la plante n'a plus augmenté de poids, il y a même une légère diminution du 6 au 25 juillet.

Isidore Pierre a encore constaté ce même affaiblissement final dans le colza :

Poids de la récolte sèche d'un hectare de colza.

22 mars	3712 kilos.
2 avril	4291 —
6 mai	8457 —
6 juin	9201 —
20 juin	9194 —

Si on continue les observations, en laissant sur pied les plantes mûres, on reconnaît que le dépérissement est très rapide, et que les pertes qu'occasionne une moisson tardive sont énormes.

On a trouvé à Grignon, en 1879 :

Poids de la matière sèche d'un hectare d'avoine.

31 juillet		4843 kilos.
13 août (moisson)		5321 —
16 août	orage	4983 —
19 août		3777 —
22 août		3622 —

Nous aurons occasion de montrer, dans une autre partie de cet ouvrage, combien il importe de faire la moisson en temps opportun ; nous ne pouvons cependant laisser passer l'exemple précédent, sans insister sur les avantages que procure l'emploi des machines, qui permet d'abattre la récolte rapidement et de la soustraire

aux chances de perte qui, en 1879, auraient réduit le rendement dans d'énormes proportions si, au lieu de moissonner le 13 août, on eut attendu jusqu'au 22.

§ 96. — Migration des principes immédiats.

La migration des principes élaborés, séjournant comme réserves transitoires dans les organes même où ils ont pris naissance, dans les tiges, ou encore faisant partie intégrante des cellules, est la condition même de la maturation; il importe donc de pénétrer le mécanisme de cette migration, elle comprend deux phénomènes successifs :

1° La dissolution des principes et leur passage, de l'état insoluble ou colloïdal, à l'état soluble dialysable;

2° Le transport de ces principes jusqu'aux organes où ils doivent séjourner, pour assurer l'alimentation de l'embryon dans la graine, du bourgeon dans le tubercule, des tiges de la seconde année dans les racines bisannuelles.

Dissolution des principes élaborés. Amidon. — Les feuilles sont non seulement le laboratoire de la plante dans lequel prennent naissance les principes immédiats, ce sont encore des magasins dans lesquels ils s'accumulent, ils y constituent des réserves transitoires, qui s'écoulent vers les organes en voie de formation.

Ces phénomènes d'accumulation momentanée suivis de dissolution et de départ ont été particulièrement étudiés sur l'amidon.

En soumettant les feuilles, suivant la méthode de M. Sachs, à l'action d'une dissolution très étendue et bouillante de soude, on réussit à gonfler l'amidon; si ensuite on décolore les feuilles au moyen de l'alcool bouillant, puis qu'on les laisse quelques instants dans la teinture d'iode, on réussit, après avoir enlevé l'iode avec de l'alcool et immergé les feuilles dans l'eau, à y voir l'amidon; or les feuilles d'un grand nombre d'espèces très colorées le soir, après une belle journée claire, ne montrent plus le lendemain que des traces d'amidon, ce qui indique clairement que ce principe émigre et ne séjourne pas indéfiniment dans les cellules où il a pris naissance.

M. Schimper (1) a précisé les conditions dans lesquelles on observe cette migration. Pour découvrir l'amidon dans les feuilles, il

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 127.

les place pendant douze à vingt-quatre heures dans le chloral iodé, et réussit à les obtenir tellement transparentes et à rendre si distincts les grains d'amidon, qu'on peut les examiner avec les plus forts grossissements du microscope.

Pour suivre leur départ, M. Schimper opère sur les feuilles de l'*Impatiens parvifolia*, il les coupe longitudinalement, une moitié reste adhérente à la plante, l'autre est séparée; la plante elle-même et les fragments de feuilles qu'elle a fournies sont maintenus dans l'obscurité. On trouva que dans ces conditions les feuilles en place ou détachées perdent de l'amidon et forment de la glycose, mais la proportion de ce sucre fut beaucoup plus grande dans les fragments détachés que dans ceux qui adhéraient à la plante, d'où il faut conclure que dans la feuille en place, non seulement l'amidon se dissout, mais de plus s'échappe, et finit par disparaître complètement; cette disparition de l'amidon des feuilles maintenues à l'obscurité a été également observée sur la vigne, par M. Cuboni et nombre d'autres physiologistes.

Ce premier point acquis, il reste à savoir quel est le mécanisme de la transformation de l'amidon en glucose.

Cette transformation est généralement attribuée à un ferment diastasique, l'*amylase*. M. Schimper écrase soit le parenchyme, soit les nervures de l'Impatiens dans de l'eau, les met au contact d'empois d'amidon, et voit celui-ci se liquéfier, l'amidon disparaît complètement.

M. Brasse (1) montre, en outre, que l'extrait de feuilles solubilise, non seulement l'amidon transformé en empois, mais même l'amidon cru. Dans ces derniers temps, cependant, on a émis quelques doutes sur l'existence d'un ferment spécial, et proposé d'attribuer au protoplasma lui-même la qualité de ferment diastasique (2).

Quoi qu'il en soit, il semble que le mécanisme de la dissolution de l'amidon dans les feuilles soit analogue à celui que nous avons vu en jeu dans les graines; il est solubilisé par une diastase, prend la forme d'un sucre réducteur qui se transporte par les vaisseaux d'un point de la plante à l'autre, se solidifiant de nouveau par place, probablement en raison de la quantité de glycose accumulée; ces transformations sont sans doute des phénomènes déterminés et limités par les proportions dans lesquelles se trouvent les

(1) *Ann. agron.*, t. XII, p. 200.
(2) *Id.*, t. XVII, p. 85.

matières en présence ; le départ du sucre réducteur provoquant la dissolution d'une nouvelle quantité d'amidon : l'abondance du sucre réducteur déterminant, au contraire, la précipitation d'une certaine quantité d'amidon.

Matières azotées. — L'analogie entre la migration des réserves transitoires des feuilles et celle des graines se manifeste, non seulement pour les hydrates de carbone, mais aussi pour les albuminoïdes qui probablement cheminent sous forme d'asparagine, avant de se concréter de nouveau, en gluten ou légumine dans les graines.

Il est bien à remarquer cependant que sur ce point nous n'avons encore que des intuitions, le mode de dissolution des albuminoïdes, la matière dyalisable à laquelle donne lieu cette dissolution, la reconstitution des albuminoïdes au moyen des amides n'est pas encore éclaircie, et s'il nous paraît probable que les réactions qui permettent le mouvement des matières azotées sont analogues à celles que nous venons d'esquisser pour les hydrates de carbone, s'il nous paraît probable que c'est sous forme d'amides, comme l'asparagine, que cheminent les matières azotées, qui sont reconstituées à leur état primitif, aux points d'arrivée où elles rencontrent les hydrates de carbone nécessaires à cette transformation, si par conséquent nous supposons que le mécanisme de leur migration au moment de la maturation est analogue à celui qu'on observe pendant la germination, nous n'avons aucune preuve qu'il en soit ainsi, et de nombreux travaux sont encore nécessaires pour élucider ce sujet délicat.

Matières minérales. — La migration des matières minérales pendant la maturation est particulièrement intéressante à suivre, elle sert en quelque sorte de démonstration au phénomène même de migration, en voyant l'acide phosphorique disparaître d'un organe et apparaître dans un autre, nous avons une certitude qu'il s'est transporté de l'un à l'autre, tandis que la disparition de l'amidon des feuilles pourrait être, à la rigueur, attribuée à un phénomène de combustion lente et son apparition dans les grains à une formation nouvelle à l'aide d'éléments ne provenant pas de l'amidon disparu.

Les travaux d'Isidore Pierre nous fournissent de très beaux exemples de migrations de l'acide phosphorique. Les deux tableaux suivants sont extraits de ses recherches sur le colza (1).

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. LX, p. 129, 1860.

Acide phosphorique contenu dans la récolte de colza obtenue d'un hectare.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES effeuillées et étêtées.	SOMMITÉS des rameaux avec fleurs ou siliques.	FEUILLES vertes.	FEUILLES mortes.	RÉCOLTE entière.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
22 mars 1859.....	7.67	9.59	3.77	17.56	»	38.59
2 avril.....	8.00	14.64	5.09	15.65	1.58	44.96
6 mai.....	10.35	31.14	23.23	12.06	6.53	83.31
6 juin.....	8.30	14.50	47.34	0.84	0.95	71.93
20 juin.....	8.32	10.45	64.66	»	»	83.43

Les dosages précédents peuvent encore être présentés sous une autre forme plus saisissante :

Aliquote par kilogr. d'acide phosphorique imputable à chacune des parties de la plante.

ÉPOQUES des OBSERVATIONS.	RACINES.	TIGES effeuillées et étêtées.	SOMMITÉS des rameaux avec fleurs ou siliques.	FEUILLES vertes.	FEUILLES mortes.	PLANTE entière.
22 mars 1859.....	199	248	97	456	»	1000
2 avril.....	178	326	113	348	35	1000
6 mai.....	124	374	279	145	78	1000
6 juin.....	115	202	658	12	13	1000
20 juin.....	100	125	775	»	»	1000

Les commentaires sont inutiles; il est bien évident que tandis que sur 1000 grammes d'acide phosphorique contenus dans la plante le 22 mars, les feuilles en accusaient 456, et les tiges ajoutées aux sommités des rameaux 345, au 6 juin les feuilles en contenaient 25 grammes, et le haut des tiges et les sommités des rameaux 860 grammes. Il est donc certain que l'acide phosphorique passe d'un point de la plante à l'autre.

Garreau a fait en 1859 des observations dans le même sens que les précédentes.

Les mêmes faits s'observent pour les pois. Corenwinder a trouvé, dans de jeunes tiges de 7 centimètres de hauteur, 27,46 d'acide

phosphorique pour 100 de cendres, et, après maturité des graines, il a trouvé, dans les cendres de tiges sèches, acide phosphorique 4,44 pour 100.

Dans les cendres de jeunes fèves dont les deux premières feuilles seulement étaient épanouies, il a trouvé 24,62 d'acide phosphorique pour 100, et seulement des traces dans ces mêmes tiges après maturité des graines.

La migration de l'acide phosphorique, son transport d'un organe à l'autre, n'est donc pas douteuse. On pourrait citer des faits tout aussi concluants relativement à la migration de la potasse, elle est particulièrement visible dans les arbres : — les cendres des vieilles feuilles sont surtout composées, ainsi que nous l'avons vu déjà, de carbonate de chaux et de silice, la potasse et l'acide phosphorique qu'elles contiennent dans leur jeunesse est résorbée dans le courant de l'été (§ 40).

§ 97. — Mécanisme de la migration des principes immédiats.

La fin dernière d'une plante herbacée est la formation de la graine ; celle-ci se remplit des principes élaborés par les feuilles et il est intéressant de voir quel est le mécanisme de leur transport des cellules dans desquelles ils ont été élaborés jusque dans ce réceptacle.

Souvent cette migration s'accomplit par étapes, c'est-à-dire que dans une plante comme le blé, par exemple, on voit les principes émigrer des feuilles inférieures à celles qui se sont développées plus tardivement, pour passer de celles-là à la partie supérieure des tiges et enfin arriver jusqu'à la graine.

Isidore Pierre a donné de la migration de l'acide phosphorique dans le blé un très bel exemple auquel nous empruntons les chiffres suivants.

Acide phosphorique dans la récolte d'un hectare.

	Toutes les feuilles réunies.	Cinquièmes feuilles.	Quatrièmes feuilles.	Troisièmes feuilles.	Deuxièmes feuilles.	Premières feuilles.
5 juin.....	5.84	0.67	0.97	0.59	1.70	1.91
6 juillet...	5.00	0.05	0.34	0.85	1.70	2.06

L'acide phosphorique étant sensiblement en même quantité dans les feuilles le 5 juin et le 6 juillet, son inégale répartition aux deux dates devient très évidente ; on voit que pendant ce mois de

juin, l'acide phosphorique quitte presque complètement les feuilles inférieures pour s'élever par étage jusqu'aux feuilles supérieures, qui bénéficient des pertes des organes plus anciens.

On a comparé avec raison le déversement des principes d'un organe à l'autre à ce qui se passe dans les appareils hydrauliques à déversements successifs, dans lesquels les réservoirs inférieurs se vident au profit de ceux qui sont au-dessus.

Influence de la dessiccation. — J'ai essayé, il y a déjà fort longtemps (1), d'esquisser le mécanisme de cette migration en m'appuyant sur les phénomènes de diffusion dont nous avons déjà formulé les lois (§ 48). Imaginons deux compartiments A et B susceptibles de recevoir des liquides et séparés par une paroi poreuse ; si A renferme un sel en dissolution et B de l'eau distillée, le sel de A se diffusera dans le compartiment de B jusqu'à ce que l'équilibre soit établi, c'est-à-dire jusqu'à ce que des volumes égaux de liquides pris des deux cotés de la paroi renferment exactement le même poids de sel.

Cet équilibre peut être rompu de deux façons différentes : le sel de B est précipité par un réactif convenable, le liquide dépouillé du sel qu'il renfermait en reçoit de A une quantité nouvelle jusqu'à ce que l'équilibre rompu soit rétabli ; une nouvelle précipitation dans B déterminera un nouvel afflux, et ainsi de suite ; le sel s'accumule dans le compartiment B.

Cette accumulation peut encore être due à une autre cause ; le liquide de A s'évapore, le départ du dissolvant augmente la concentration ; pour que l'équilibre se rétablisse, il faut ou bien que le sel passe de A en B ou bien que l'eau passe de B en A.

Examinons maintenant une tige de blé au mois de juin ; nous avons vu (§ 84) que les feuilles du bas se sèchent peu à peu, comme elles évaporent moins bien que celles du haut, leur dessiccation implique que l'eau y arrive de plus en plus difficilement, les matières dissoutes qu'elles renferment vont donc s'y trouver en dissolution plus concentrée que dans les feuilles plus jeunes et par suite les principes dissous vont s'acheminer vers les feuilles supérieures.

Il est bien à remarquer que cette migration porte non seulement sur les matières toujours dissoutes comme les sucres, mais aussi sur les réserves transitoires, telles que l'amidon, que fluidifie l'amylase ; transformé en glucose il passe au travers des cellules ;

(1) *Annuaire scientifique de* 1864. — *Mémoire couronné par l'Académie des sciences*, 1865.

quant aux albuminoïdes, prennent-ils pour cheminer une forme de voyage, celle d'asparagine, par exemple, pour se rétablir plus haut à l'état d'albuminoïde ? C'est ce que nous ignorons encore.

Les mouvements précédents sont complètement indépendants des transports d'eau ; mais ceux-ci leur sont favorables ; en effet, l'évaporation très active des jeunes organes détermine un appel auquel obéit non seulement le liquide puisé dans le sol par la racine, mais celui que renferment les organes affaiblis.

Enfin les phénomènes d'endosmose favorisent le mouvement de l'eau entraînant avec elle les principes dissous ; en effet, une feuille desséchée n'accuse plus à l'analyse que de très faibles proportions d'azote, elle a donc perdu ses albuminoïdes, les cellules ne renferment plus les substances osmotiques que contiennent encore les cellules vivantes, et qui y déterminent l'afflux des liquides.

La dessiccation des organes inférieurs est l'origine de tous ces mouvements ; si cette dessiccation n'a pas lieu, par suite de pluies très abondantes, les cellules des feuilles formées les premières continuent à fonctionner longtemps, elles fabriquent beaucoup de matière végétale, les plantes s'allongent, les pailles des céréales notamment atteignent de grandes dimensions ; si au contraire la saison est sèche, si très vite le manque d'eau se fait sentir, la dessiccation est rapide, les feuilles cessent de fonctionner avant d'avoir pu élaborer une quantité notable de matière végétale, le développement de la plante est faible, la paille est courte.

C'est ainsi que le rendement des céréales est plus fort dans les pays tempérés, en Angleterre, en Belgique et dans le Nord de la France, que dans les régions méridionales où la dessiccation est trop rapide ; c'est ainsi encore que les terres noires de Russie qui peuvent porter indéfiniment des céréales sans recevoir d'engrais ne fournissent en moyenne que 8 hectolitres de blé à l'hectare ; aussitôt que la neige a disparu, les plantes sont soumises à l'action d'un soleil très ardent ; l'évaporation de l'eau des feuilles surpasse l'absorption par la racine ; les feuilles se flétrissent rapidement sans avoir le temps d'élaborer une quantité de matière suffisante pour assurer une récolte abondante.

Influence des précipitations. Accumulation des réserves insolubles. — Si on examine des grains de céréales, comme le blé, on remarque immédiatement que les deux principes les plus importants qu'ils renferment, l'amidon et le gluten s'y trouvent à l'état insoluble ; si on se reporte à l'expérience fondamentale de la

page 188, on conçoit que l'insolubilité de ces principes soit la cause même de leur accumulation. Supposons que la dessiccation des feuilles inférieures du blé ait fait refluer les hydrates de carbone et les albuminoïdes jusqu'aux feuilles supérieures et à la partie de la tige voisine des épillets, supposons enfin que la fécondation ait eu lieu, que les ovules se soient formés; par un mécanisme que nous ignorons, dans le grain, la glucose devient de l'amidon et l'albumine se coagule à l'état de gluten, il est dès lors manifeste que le liquide qui gorge ces organes, d'abord en équilibre de composition avec les liquides contenus dans les organes voisins, se trouve par suite de cette précipitation dépouillé des principes solubles qu'il renfermait, il est plus pauvre que le liquide de la tige et des feuilles et il va recevoir du liquide immédiatement en contact avec lui, les sucres et les albuminoïdes qui se trouvent dans ces organes en dissolution plus concentrée que dans l'ovule. La sève contenue dans les organes voisins des épillets, appauvrie à son tour, recevra ces mêmes principes de la couche plus riche avec laquelle elle est en contact et ainsi de suite. Le mouvement de transport sera continu, tant que la cause qui le détermine, c'est-à-dire la précipitation dans les ovules, des sucres à l'état d'amidon, des albuminoïdes à l'état de gluten, continuera de se produire.

Ainsi qu'on vient de le voir, le transport n'a lieu que par suite de la précipitation qui se produit dans les ovules, si ceux-ci sont enlevés la migration s'arrête; c'est ce qu'on observe très nettement, sur des champs de blé ou d'avoine pillés par les oiseaux; les grains ayant été vidés aussitôt qu'ils commençaient à se remplir, la migration cesse de se produire, les feuilles restent longtemps vertes, la migration étant arrêtée, la dessiccation est bien moins rapide que dans les conditions normales.

Habituellement cette destruction des ovules est suivie de l'apparition de jeunes tiges qui repartent du collet, leur alimentation détermine un mouvement de migration de haut en bas, en sens inverse par conséquent du mouvement habituel. C'est ce qui a été constaté à Grignon en 1876, sur des tiges d'avoine dont on avait enlevé les fleurs aussitôt après leur apparition; analysées le 20 juillet elles ont donné les chiffres suivants :

	Haut de la tige.	Bas de la tige.
Humidité	50.54	64.60
Matières azotées	3.25	6.75
Sucre non réducteur	1.32	3.54
Sucre réducteur	1.61	2.83

La destruction des fleurs que porte habituellement le sommet de la tige a amené une perturbation complète, le haut de l'avoine s'est flétri, puis desséché ; il avait l'aspect d'une tige morte ; cette dessiccation, que les dosages mettent en évidence, a déterminé, par un phénomène inverse de celui qui se produit dans les conditions normales, le reflux des albuminoïdes et des hydrates de carbone vers le bas de la tige.

Pour savoir comment ils pouvaient être utilisés, les expériences de mutilation ont été faites en 1877 un peu plus tôt, dès l'apparition des fleurs au mois de juin, et on a laissé l'avoine sur pied ; on ne l'a coupée que le 6 août.

A ce moment, à côté de la tige principale, s'était développée une tige plus petite qui a porté des fleurs puis des grains.

La migration s'était produite de haut en bas ; on conçoit, dans ce cas, que les hydrates de carbone aient obéi aux lois développées plus haut ; seulement ils se sont concrétés partiellement sous forme de cellulose pour former la jeune tige repartie du collet ; quant aux albuminoïdes, il est probable qu'ils ont été entraînés par la dessiccation de la vieille tige aux cellules plus jeunes et plus humides de la jeune plante.

En résumé, si c'est l'insolubilité qu'acquièrent les matières azotées dans les ovules fécondés, en y passant à l'état de gluten, si c'est la transformation en amidon insoluble des hydrates de carbone solubles qui déterminent l'accumulation de ces principes dans les grains, il est bien à remarquer cependant que ce mouvement doit être favorisé par les conditions climatériques.

L'appel que produisent les ovules fécondés des principes solubles n'est pas suffisant pour déterminer le transport qui accompagne la maturation, il y faut encore la dessiccation des tiges ; j'ai eu, en effet, occasion d'observer le fait suivant : visitant en 1874, aux environs de Londres, un domaine sur lequel on essayait l'emploi des eaux d'égout, je vis au milieu d'un champ de blé mûr, près d'être moissonné, quelques mètres carrés constamment soumis à une pluie d'eau d'égout, provenant d'une conduite supérieure percée de petits trous ; le blé ainsi arrosé était très haut, il avait plus de 2 mètres, il était resté complètement vert et ne manifestait aucun signe de maturité ; l'arrosage constant auquel il était soumis avait empêché la dessiccation de la tige et semblait avoir arrêté tout mouvement de transport des principes élaborés par les feuilles vers les ovules fécondés.

Un mois de juillet chaud et sec déterminant la dessiccation des récoltes de graminées favorise la migration des principes élaborés, le remplissage des épis, la qualité de la récolte ; si la pluie est très abondante, la quantité de paille produite peut être très forte, mais la migration se fera mal et la récolte de grain sera médiocre ; on jugera de ces influences par l'exemple suivant, emprunté aux cultures d'avoine du champ d'expériences de Grignon.

Années.	Millimètres d'eau tombés en avril, mai et juin.	Poids de la paille à l'hectare.	Poids du grain à l'hectare.	Rapport de la paille au grain.
1876.....	109.26	4.773	2.959	1.6
1878.....	273.40	6.056	2.230	2.7

La pluie très abondante de 1878 a déterminé une production de paille très abondante, mais la migration a été irrégulière et le poids des grains plus faible qu'en 1876.

Il convient, en outre, de se rappeler que l'accumulation des albuminoïdes et celle de l'amidon sont indépendantes l'une de l'autre.

En 1889, on a obtenu à Grignon une récolte de grain médiocre, mais très riche en matières azotées, et par compensation très pauvre en amidon ; en calculant les quantités produites à l'hectare, on a trouvé que la récolte de graines de 1889 renfermait précisément la même quantité de matières azotées que celle de 1888, mais une quantité d'amidon infiniment moindre, la migration de l'un des éléments avait eu lieu régulièrement, tandis que celle de l'autre ou même sa production n'avaient été que très incomplètes.

Accumulation des réserves solubles. — Les fruits tels que le raisin, les racines telles que les betteraves, accumulent de grandes quantités de réserves solubles : dans les bonnes années les betteraves donnent un jus qui renferme 20 centièmes de sucre de canne, et les raisins contiennent souvent de 16 à 18 centièmes de sucre réducteur.

Il est manifeste que les considérations précédentes ne peuvent plus servir à expliquer le mécanisme de cette accumulation, mais on doit à M. Léon Brasse une série d'expériences très ingénieuses dans lesquelles il démontre que la combinaison d'un *cristalloïde avec un colloïde* équivaut, pour déterminer les mouvements de diffusion, à l'insolubilité ; or les fruits et les racines renferment des composés colloïdaux, sans doute des corps pectiques, dont la présence explique les accumulations de sucre obtenues par M. Brasse

dans des fragments de betterave, plus chargés de sucre que les liquides qu'ils appauvrissaient (1).

En étendant à l'accumulation des réserves solubles ce que j'avais établi pour les réserves insolubles, M. Brasse a montré que l'intervention des phénomènes de diffusion dans la maturation peut être considérée comme générale, que par suite il faut admettre que ce sont ces phénomènes de diffusion qui déterminent l'accumulation dans les grains, les tubercules ou les racines des principes élaborés par les feuilles. L'étude particulière d'un certain nombre de plantes de grande culture, abordée dans une autre partie de cet ouvrage, nous fournira de nombreuses applications des principes énoncés dans ce chapitre.

§ 98. — Du mouvement des principes immédiats dans les végétaux ligneux.

Ancienne opinion de la sève descendante. — Quand on parcourt les ouvrages des anciens physiologistes, notamment ceux de Mariotte, on est très frappé de voir combien la grande découverte d'Harvey sur la circulation du sang dans les animaux exerce d'influence sur les manières de voir qu'ils proposent, pour expliquer le mouvement de l'eau dans la plante.

Il leur paraît évident que la sève s'élève des racines vers le sommet de l'arbre, puis s'élabore dans les feuilles et redescend par les vaisseaux de l'écorce jusque dans la racine d'où elle est partie, qu'il y a par suite circulation complète de l'eau dans le végétal, qu'il existe deux sèves différentes : l'une ascendante fournissant à l'évaporation et charriant dans les diverses parties de la plante tous les matériaux puisés dans le sol par la racine, une autre chargée des principes immédiats élaborés dans les feuilles et les apportant aux organes en voie d'accroissement, s'écoulant enfin par la racine dans le sol, pour y déposer toutes les substances qui avaient pénétré avec la sève ascendante et n'avaient pas été utilisées.

Cette manière de voir s'appuyait sur quelques expériences très anciennes : on a observé, en effet, depuis longtemps que lorsqu'on enlève dans les plantes ligneuses un anneau d'écorce sur le tronc ou sur une branche, un bourrelet ligneux apparaît au-dessus

(1) *Ann. agron.*, tome XII, p. 305.

de la partie blessée; on avait vu également que lorsqu'on pratique une forte ligature sur un arbre encore jeune, un renflement se produit au-dessus de la ligature. Enfin il est manifeste que les racines ne peuvent s'accroître, les tubercules prendre naissance et se gonfler de fécule, qu'autant qu'ils utilisent les principes élaborés par les feuilles, d'où il faut conclure que ces principes ont suivi une marche inverse à celle de la sève ascendante entraînée du sol aux parties supérieures du végétal.

On conçoit enfin qu'avant que Graham eut exécuté ses expériences de diffusion, avant qu'il eût fait voir la possibilité du cheminement d'une matière dissoute, indépendant de tout mouvement du dissolvant lui-même, on supposât que les principes immédiats nécessaires à la formation des racines, des tubercules, du bois fussent transportés par un courant liquide jusqu'aux organes où ils doivent être employés, et qu'on ait été conduit enfin à imaginer qu'un courant régulier dirigé de haut en bas fût nécessaire pour expliquer ces transports.

Si l'hypothèse de l'existence d'une sève descendante s'est ainsi maintenue fort longtemps dans nombre d'ouvrages, elle n'avait pas cependant été admise par tous les botanistes, plusieurs d'entre eux et des plus illustres, notamment Halle et Duhamel du Monceau (1), tout en reconnaissant que la sève se meut souvent de haut en bas, se refusaient à admettre qu'il y eut dans les plantes une véritable circulation.

Un grand nombre d'expériences plus ou moins probantes a été exécuté sur les arbres pour chercher à découvrir le mouvement de la sève; sans nous astreindre à les rappeler, nous nous bornerons à citer des essais très faciles à répéter et qui montrent que les mouvements des principes immédiats dans les plantes ligneuses s'établissent aussi bien de bas en haut que de haut en bas, que ces mouvements en sens contraire peuvent être facilement suivis dans les plantes possédant des sucs laiteux, et que par suite ces transports du latex ne conduisent pas à admettre l'existence d'une sève *descendante*.

§ 99. — Mouvements variés du latex; expériences de Faivre.

Le *Ficus elastica* qui élabore un suc blanc, laiteux, est particu-

(1) Voyez notamment dans le tome II de la *Physique des arbres* (édition de 1788), art. XI, *Discussion sur la circulation de la sève.*

lièrement propre aux observations ; Faivre, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon (1), s'est servi de cet arbuste, commun dans les serres, pour montrer les mouvements variés de la sève élaborée.

On enlève les feuilles d'une bouture de cette plante, en réservant seulement quatre d'entre elles à la partie inférieure, près du collet ; on prive ensuite la portion supérieure dépourvue de feuilles, de tout le suc qu'elle peut contenir, par la section de l'axe et par des incisions profondes, et l'on s'assure par des piqûres répétées qui ne laissent plus couler qu'une lymphe incolore, que tout le suc laiteux a disparu. Les choses sont laissées dans cet état et, quelques heures après le début de l'expérience, les ponctions sont renouvelées. On constate alors que les portions de l'axe, naguère dépourvues de suc coloré, en sont maintenant gorgées ; d'où il faut conclure que le latex, loin de descendre du haut de la plante vers le bas, s'est au contraire élevé ; cette expérience, variée et répétée à diverses reprises, a donné des résultats constants.

Faivre montre encore que le mouvement du latex ne se produit pas seulement par les vaisseaux de l'écorce, comme on l'admettait autrefois, mais qu'il s'exécute également par la moelle ou le bois. Si, en effet, on pratique encore sur le ficus dépouillé de ses feuilles supérieures, une profonde incision annulaire, de telle sorte que la partie supérieure ne soit en relation avec le tronc, qui porte encore des feuilles, que par le bois lui-même, puis, qu'on procède aux ponctions comme il a été dit plus haut, de façon à dépouiller la partie supérieure de son latex et qu'enfin, après quelques heures, on procède à de nouvelles ponctions, on reconnaît que le suc laiteux s'est transporté de nouveau vers la partie supérieure de la tige et que, par suite, non seulement il a suivi un chemin inverse de celui qu'il parcourt habituellement, mais que de plus il a passé par les vaisseaux du bois et non par les laticifères de l'écorce.

Le latex s'élabore dans les feuilles : si, en effet, on prive un pied de *Ficus elastica* de ses feuilles et du bourgeon terminal, on voit apparaître des jeunes bourgeons latéraux, qui accomplissent hâtivement leur évolution normale. A peine développés, ils s'ouvrent et étalent des feuilles dont le diamètre est de beaucoup inférieur à celui des feuilles ordinaires. Si la tige est assez vigoureuse, l'ablation de ces bourgeons est suivie de la production de bourgeons nouveaux plus restreints encore dans leur évolution. Quand on pique

(1) *Ann. des sc. natur. botan.*, 5e série, t. VI, p. 33. Voyez aussi même recueil, même série, t. X, p. 97.

ou qu'on incise les parties supérieures de la tige, on n'y aperçoit plus de sève laiteuse ou latex, mais celle-ci apparaît cependant, affaiblie par les traitements précédents, à la base des jeunes bourgeons. Peu de jours après l'ablation totale des feuilles et des bourgeons, il s'opère un changement très marqué dans le suc nourricier que contenait la tige. Au lieu d'un latex très coloré, très riche en substances coagulables et en globules, on retire de la tige, dans ses parties supérieures, une lymphe abondante, aqueuse, incolore, pauvre en globules, pauvre en matières coagulables : ainsi, l'ablation totale des feuilles du *Ficus elastica* arrête dans leur élongation les bourgeons déjà produits, et en même temps le suc blanc est graduellement remplacé par une lymphe incolore, aqueuse, distincte du latex proprement dit.

Il est vraisemblable que les résultats précédents s'appliquent aux arbres résineux qu'on dépouille de leur sève élaborée pour en extraire la résine. On sait, en effet, que si l'on peut pratiquer impunément sur l'arbre arrivé à un certain développement quelques blessures au-dessous desquelles on place les vases destinés à recueillir le liquide qui s'écoule, on ne saurait, sans porter un préjudice sérieux à l'arbre, multiplier les attaques, et que c'est seulement quand on juge que l'arbre doit bientôt être abattu que, suivant la locution consacrée, il est *gemmé à mort*.

Si la sève élaborée des ficus ou des résineux ne renfermait que des carbures d'hydrogène, qui ne sont peut-être que des matières excrétées, sans utilité pour la formation des organes nouveaux, on ne comprendrait pas bien comment la plante souffre d'en être privée ; mais il est vraisemblable qu'outre les résines, les sèves renferment des matières azotées, des sels solubles, des hydrates de carbone qui ont un rôle actif dans la formation des tissus.

D'après Faraday, la sève de l'*Hevea* (arbre à caoutchouc) renferme, en effet, sur 100 parties :

Eau	56
Caoutchouc	32
Albumine végétale	2
Substance azotée soluble dans l'eau et l'alcool	7
— carbonée soluble dans l'eau et l'alcool (sucre).	3
	100

§ 100. — Composition de diverses sèves.

La composition des sèves élaborées a été particulièrement étudiée

par M. Boussingault, auquel nous empruntons les renseignements suivants :

Sèves sucrées. — On rencontre le sucre dans la sève d'un très grand nombre de plantes, et notamment de celles qui croissent sous les tropiques; il y est souvent assez abondant pour servir à la fabrication de liqueurs spiritueuses.

La sève d'un assez grand nombre de palmiers (Boussingault, *Économie rurale*, t. I, p. 128) renferme une quantité considérable de matières sucrées. A Java, par exemple, on extrait du sucre cristallin de l'*Arenga saccharifera*. Dans plusieurs autres localités, le suc des palmiers (*Phœnix*, etc.) est soumis à la fermentation pour préparer des liqueurs vineuses.

Le *Cocos butyracea* (*palma de vino*) donne une sève sucrée qui, par la fermentation, produit une liqueur assez alcoolique pour être enivrante. Pour se la procurer, les Indiens commencent par abattre les palmiers, en ayant soin, lorsque l'arbre est couché, de lui donner une légère inclinaison vers le pied; ensuite ils font à la base du tronc un trou d'une capacité de 8 à 10 litres, dont ils ferment l'orifice avec des feuilles. Après dix ou douze heures, la cavité est pleine d'un liquide d'une odeur vineuse fortement prononcée, et d'une saveur aigrelette, due probablement à l'acide carbonique qui se dégage en abondance : un palmier de 15 à 20 mètres de hauteur et dont le tronc, vers la base, a de 50 à 60 centimètres de diamètre, fournit de 12 à 18 litres de vin en vingt-quatre heures, pendant dix à douze jours.

L'agave mexicain donne aussi une sève sucrée qui sert à préparer le *pulqué*. Si on laisse la hampe se développer, elle s'élève rapidement, atteint parfois de 12 à 15 mètres de hauteur, se couvre de fleurs, et les feuilles jusque là pleines, rigides, turgescentes, deviennent flasques et molles; les matières qui gorgeaient leurs tissus ont servi à la formation de la hampe. On observe souvent cet exemple remarquable de transport des principes immédiats sur les *Agave* cultivés dans les jardins de la France méridionale, Toulon, Marseille, Nice et en Algérie où quelques variétés analogues servent à faire des clôtures.

Quand on exploite l'*Agave* pour en obtenir le pulqué, au moment où l'agave va fleurir, ce qui arrive dix ou douze ans après sa plantation, on doit couper le bourgeon qui produirait la hampe, pour recueillir la sève contenant les principes élaborés par la plante pendant des années. « Au moment de l'abatage, le bourgeon de l'agave pré-

sente l'aspect d'un cône à pointe acérée, dont la base a de 50 à 55 centimètres de diamètre. Pénétrer jusqu'à lui n'est pas sans quelque danger, défendu qu'il est par des feuilles garnies sur leurs deux côtés d'épines crochues, agissant sur la peau comme des hameçons. Après avoir pratiqué une trouée à l'aide d'un coutelas (*machete*), en évitant le contact d'une matière visqueuse extrêmement caustique, suintant des coupures pratiquées sur les feuilles, l'Indien abat le bourgeon destiné à devenir le pédoncule de la fleur. L'attaque d'un maguey est terminée en quelques minutes, y compris le temps nécessaire pour meurtrir la section mise à nu en la frappant avec une batte de bois dur. L'ablation opérée laisse une plaie qui bientôt se cicatrise en se couvrant d'une épaisse croûte noire. Huit ou dix mois, quelquefois un an après, la cicatrice est enlevée à l'aide d'un instrument de fer, le *rapsador*, et au moyen d'une cuiller à bords tranchants, on pratique dans le cœur du maguey une excavation cylindrique ayant 15 à 20 centimètres de diamètre, sur une profondeur de 12 à 15 centimètres. C'est dans cette cavité que se rassemble la sève élaborée. » Selon la vigueur de la plante, un maguey fournit, en moyenne, de 1 à 10 litres de liquide sucré par jour pendant trois, quatre et même six mois. M. Boussingault calcule que de toutes les plantes élaborant du sucre, c'est l'agave qui à l'hectare fournit la plus grande masse de produit alcoolisable (1).

Sève laiteuse de l'Hura crepitans (ajuapar). — Le suc de l'*Hura crepitans* est justement redouté, et les personnes qui sont exposées à son action sont atteintes de graves indispositions. Ce lait ressemble à celui de l'arbre de la vache, mais il est un peu plus jaunâtre; il n'a pas d'odeur; sa saveur, très peu marquée d'abord, fait bientôt éprouver une irritation très forte; il rougit la teinture de tournesol.

Suc de l'arbre à vache ou galactodendron. — Il est un peu visqueux; sa saveur, agréable, est un peu balsamique. Quant à ses propriétés chimiques, elles diffèrent sensiblement de celles qui sont particulières au lait animal. Ainsi les acides ne le caillent pas; l'alcool le coagule à peine. Par l'action d'une douce chaleur, on voit se former à la surface du lait végétal de légères pellicules. En l'évaporant au bain-marie, on obtient un extrait qui ressemble à la *frangipane*, et si l'on continue pendant un certain temps l'action du feu, on remarque des gouttes huileuses, qui augmentent à mesure que l'eau

(1) *Agronomie*, t. IV, p. 23.

se dégage ; elles finissent par former un liquide d'apparence graisseuse, dans lequel nage une substance fibrineuse qui se dessèche et se racornit à mesure que la température augmente. Alors se répand l'odeur la mieux caractérisée qu'il soit possible, de viande qu'on fait frire dans la graisse.

Le lait de l'arbre à vache (*Galactodendron*) renferme donc une matière grasse assez solide, fusible à 40 degrés, soluble dans l'alcool, et, d'autre part, une matière qui, par l'ensemble de ses propriétés, se rapproche de la fibrine. A l'analyse (1), ces matières ont donné les résultats suivants :

Cire, matières grasses	84.10
Sucre interverti	2.00
Sucre non réducteur	1.40
Gomme saccharifiable	3.15
Caseum albumine	4.00
Cendres alcalines phosphates	1.10
Substances non dosées	4.25
	100.00

§ 101. — Maturation dans les plantes ligneuses.

Les phénomènes de transport qui accompagnent la maturation dans les plantes ligneuses ont été jusqu'à présent peu étudiées ; il est vraisemblable que les mouvements des principes élaborés sont surtout déterminés par des dissolutions et des précipitations successives, la dessiccation des organes ne pouvant entrer en jeu dans un arbre de grande dimension.

Les réserves qui servent à nourrir les fruits et les graines existent dans certains arbres, emmagasinées dans la souche, d'une année sur l'autre, aussi la floraison précède-t-elle souvent l'apparition des feuilles, et les fruits se nouent dès le premier printemps ; les amandiers sont en fleurs dès le mois de mars, les marronniers dès le mois d'avril. Le mouvement de transport commence donc dès le retour de la bonne saison, et on observe souvent au printemps une résorption de l'amidon de réserve dans les branches couvertes de fleurs ; A. Gris (2) constate que, le 4 avril, une branche de poirier qui porte des bourgeons à fleurs est encore gorgée d'amidon, mais douze jours après, lors de l'épanouissement des fleurs, la résorption était complète.

(1) *Agronomie*, t. VII, p. 64.
(2) *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 738, 1866.

Un érable ayant donné le 30 mars de magnifiques bourgeons florifères, on reconnut que les tissus des branches renfermaient encore de fortes réserves d'amidon tandis que le 11 avril, époque à laquelle la floraison tirait à sa fin, l'amidon avait complètement disparu.

Ces observations ne portent que sur l'amidon dont les mouvements sont faciles à suivre, il est probable que si les études avaient porté sur les matières azotées, on aurait constaté de même leur départ après la floraison.

Les fruits que portent les arbres sont, en général, d'un poids trop faible, par rapport à la masse de la plante, pour que leur maturation entraîne un affaiblissement général, semblable à celui qui nous a si vivement frappés dans l'étude des plantes herbacées; cependant quand le nombre des fruits est considérable par rapport à celui des feuilles, ce qui arrive pour quelques cépages de vigne cultivés dans la région méridionale, l'affaiblissement qui correspond à la maturation redevient sensible, d'où le proverbe languedocien : « Qui voit la vigne en août, voit ses douleurs » (mot à mot les douleurs de l'enfantement) (1).

(1) Au moment de la maturation « les rameaux de la vigne entière sont le siège de phénomènes très apparents que le langage populaire a caractérisés en les rapprochant de ceux qui accompagnent la gestation chez les animaux. En effet, la végétation s'arrête, les rameaux et les feuilles pâlissent et l'analyse établit que ces organes s'appauvrissent brusquement en potasse. » (Saint-Pierre et Magnien, *Ann. agron.*, tome IV, p. 162.)

DEUXIÈME PARTIE

LA TERRE ARABLE

On désigne, sous le nom de *terre arable*, le mélange de sable, d'argile, de calcaire, de débris végétaux attaquable par la charrue et par la bêche, sur lequel se développent les végétaux.

La qualité de la terre arable a toujours été une des préoccupations du cultivateur qui sait distinguer une bonne terre d'une mauvaise, sans qu'il lui soit toujours possible de préciser à quelles causes sont dus les avantages qu'il tire de l'une, les mécomptes qu'il supporte de l'autre ; la connaissance de ces qualités et de ces défauts présente cependant le plus vif intérêt, puisqu'elle doit être l'origine de toutes les améliorations tentées.

La terre sert de support aux racines, elles doivent y trouver une atmosphère oxygénée, de l'eau et les matières nécessaires à l'alimentation de la plante, que nous avons décrites dans la première partie de cet ouvrage ; les notions que nous y avons acquises vont nous servir de guide dans l'étude des terres arables.

Nous diviserons cette seconde partie en six chapitres, dans lesquels seront exposées les questions suivantes :

Chapitre I^er^. — Formation de la terre arable.
— II. — Propriétés physiques et analyse physique.
— III. — Analyse chimique.
— IV. — Constitution chimique.
— V. — Propriétés absorbantes.
— VI. — Des causes de stérilité.

CHAPITRE PREMIER

FORMATION DE LA TERRE ARABLE.

La terre arable est essentiellement formée de quatre éléments : de sable, d'argile, de calcaire et d'humus et nous devons essayer de comprendre, comment des roches dures, compactes, comme le granite, le gneiss, les basaltes ou les calcaires cristallins, ont pu devenir assez meubles pour être entamées par nos instruments et pénétrées par les racines des végétaux.

Nous examinerons successivement comment cette pulvérisation, cet ameublissement se produit sur des roches en places; comment ces matières ameublies sont en outre entraînées pour former les terres de transport.

§ 102. — Décomposition des roches sur place.

Actions mécaniques. Pulvérisation spontanée. — Ces actions donnent particulièrement naissance à l'un des éléments des terres: au sable. Certains corps formés à une température élevée, puis refroidis brusquement, sont dans un état d'équilibre instable : ils se brisent, se pulvérisent spontanément ou sous l'influence du moindre choc. Tous les chimistes qui ont coulé sur une surface métallique du borate de soude fondu, ou de l'acide borique, l'ont vu se briser violemment pendant le refroidissement; on grenaille les métaux en les coulant dans l'eau froide, les larmes bataviques sont connues de tout le monde, et il n'est pas impossible que la tendance à la pulvérisation qui existe dans certaines roches soit due à leur brusque refroidissement après leur arrivée à la surface. D'après Fournet (1) certains feldspaths semblent passer d'un état moléculaire où leur décomposition était très lente à un autre où l'altération est beaucoup plus rapide ; il se détermine dans leur masse un mouvement analogue à celui qu'on observe dans l'acide arsénieux qui de vitreux devient opaque, qu'on observe encore dans la silice en gelée qui d'abord soluble devient peu à peu insoluble. Les feldspaths relativement modernes, qui se trouvent dans les filons, présentent une tendance à la décomposition particulièrement sensible.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 2e série, t. LX, 1833.

Influence de la gelée. — La force expansive que manifeste l'eau au moment où elle se gèle est considérable ; on en fait voir la puissance dans les cours de chimie, à l'aide d'un tube de verre qu'on soude à la lampe après l'avoir rempli d'eau, puis qu'on dépose dans un mélange refrigérant ; la congélation du liquide ne tarde pas à produire la rupture complète du tube.

Aussitôt qu'une roche présente une fissure dans laquelle l'eau peut pénétrer, elle s'exfolie par la gelée, se fend et tombe en fragments ; les constructeurs évitent d'employer les pierres *gélives*.

Darwin rapporte que dans ses voyages aux Andes et à la Terre de feu, il a observé que partout où les roches étaient couvertes de neige pendant la plus grande partie de l'année, elles étaient brisées en petits fragments de formes anguleuses. Scoresby a observé le même phénomène au Spitzberg. Il est visible même sur les montagnes de médiocre élévation du Puy-de-Dôme ou du Cantal. On cite en Finlande un granit qu'il faut renoncer à employer dans les constructions, à cause des petites fissures qu'il présente, l'eau y pénètre, gèle, et fait éclater la pierre. On conçoit donc qu'une roche dure, compacte, puisse cependant s'exfolier, se briser, et donner de petits fragments, des cailloux, des sables qui seront siliceux ou calcaires suivant l'origine de la roche désagrégée.

Action de l'oxygène, de l'acide carbonique sur les roches. — A ces actions purement mécaniques s'ajoute, au reste, l'influence de l'oxygène et de l'acide carbonique sur des roches renfermant des éléments incomplètement oxydés, des alcalis, et quand ces roches sont alumineuses, le résidu de l'altération constitue un des éléments les plus importants des sols : les argiles.

On sait que les combustions lentes qui se produisent spontanément dans certaines roches les métamorphosent rapidement : les argiles mélangées de pyrites blanches sont dans ce cas. Cette pyrite est un sulfure de fer souvent disposé en grosses masses arrondies à structure rayonnée ; au contact de l'air humide, cette masse s'oxyde, se transforme en sulfate de fer, donne en même temps de l'acide sulfurique qui réagit sur les éléments des roches dans lesquelles la pyrite est enchâssée, fournissant du sulfate d'alumine, qui est employé à la fabrication de l'alun. Les roches volcaniques, telles que les basaltes, les trachytes renferment du protoxyde de fer, sa suroxydation détermine une profonde altération car elle est accompagnée d'une augmentation de volume qui contribue à la désagrégation de la masse.

L'acide carbonique exerce une action non moins importante : quand il attaque les feldspaths, il donne naissance aux argiles.

Ebelmen s'est particulièrement occupé de la transformation du feldspath en kaolin : les roches désagrégées ne se rencontrent pas seulement à la surface des gisements, mais aussi à une grande profondeur, les bancs de kaolin sont souvent coupés de bandes de quartz, le long desquelles les eaux chargées d'acide carbonique semblent avoir coulé, déterminant la dissolution de la potasse du feldspath, entraînant de la silice et laissant comme résidu l'argile.

Les analyses suivantes montrent bien la nature de la transformation, elle est particulièrement apparente, quand on calcule la composition de l'argile, en supposant que le poids d'alumine du feldspath est resté constant.

	Feldspath.	Kaolin.	Composition du kaolin rapporté à 18,4 d'alumine.
Silice.....	64.2	46.8	23.1
Alumine.....	18.4	37.3	18.4
Potasse.....	17.0	2.5	1.1
Eau.....	0.0	13.0	6.4
Perte.....	0.4	0.4	
	100.0	100.0	

En se transformant en kaolin, le feldspath a perdu presque toute sa potasse, entraînée à l'état de carbonate et une partie de sa silice qui se dissout mal, mais se délaye facilement dans l'eau.

Les analyses du basalte montrent que ses altérations sont dues aux mêmes causes, mais il suffit cependant d'un examen superficiel pour voir que la matière a rougi dans toutes les parties altérées, ce qui dévoile l'action de l'oxygène transformant le protoxyde de fer en sesquioxyde.

	Basalte.	Basalte altéré.	Composition du basalte altéré rapportée à 13,2 d'alumine.
Acide silicique.....	46.1	36.0	15.9
Alumine.....	13.2	30.5	13.2
Chaux.....	7.3	8.9	3.8
Magnésie.....	7.0	0.6	0.3
Sesquioxyde de fer (1)....	16.6	4.3	1.9
Alcalis.....	4.5	1.5	0.6
Eau	4.9	16.9	7.2
Perte.....	0.4	0.6	
	100.0	100.0	

(1) On a calculé le fer à l'état de sesquioxyde, il ne paraît pas dans la roche primitive être entièrement au maximum d'oxydation.

Pendant l'altération : la silice, la chaux, la magnésie, la plus grande partie de l'oxyde de fer ont diminué ou disparu presque complètement. L'altération commencée par la suroxydation de l'oxyde de fer a continué par la dissolution des terres alcalines.

Depuis Ebelmen, plusieurs observateurs ont confirmé les faits précédents. Il existe, en divers points de l'Erzgebirge, du basalte transformé en argile sur 20 centimètres de profondeur : comme la précédente les analyses indiquent que la perte a porté surtout sur la silice, la chaux, la magnésie, la potasse et la soude.

Des analyses de trapps à l'état normal et altérées, insérées par Ebelmen dans ses mémoires, démontrent encore que toutes les roches renfermant de l'alumine laissent par leur décomposition un résidu argileux plus ou moins pur, plus ou moins mélangé d'oxyde de fer suivant la nature de la roche et suivant les circonstances dans lesquelles son altération s'est produite.

M. Jul. Rich. Muller a repris récemment ce sujet (1), il a soumis différents minéraux bien pulvérisés à l'action de l'eau chargée d'acide carbonique maintenu à une pression de trois atmosphères et demie, pendant quarante-neuf et cinquante-deux jours la température est restée constante; puis il a déterminé le poids des matières dissoutes.

Sur 100 parties de feldspath *adulaire* 0,328 ont été dissoutes. Sur 100 parties de potasse contenues dans ce minéral, 1,325 sont entrées en dissolution, celle-ci contenait en outre de la silice et de l'alumine; l'*oligoclase* a abandonné à l'acide carbonique sur 100 parties 0,533, surtout formées de chaux et de soude, l'*amphibole hornblende* est beaucoup plus attaquable, elle abandonne à l'acide carbonique 8,5 de chaux pour 100 de cette base contenue dans le minéral et 4,8 d'oxyde de fer; parmi les minéraux phosphatés, l'apatite a laissé dissoudre de la chaux et 1,822 d'acide phosphorique pour 100 contenu dans le minéral.

Ces expériences sont donc la confirmation de celles d'Ebelmen. l'acide carbonique en dissolution dans l'eau est un puissant agent de transformation des roches. Dans presque toutes les argiles, on rencontre, au reste, une certaine quantité d'alcali qui reste comme un témoin de leur origine.

La formation de l'argile dans une masse montagneuse est souvent l'occasion de glissements des masses non altérées, qui se bri-

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 476.

sent encore en tombant dans les vallées; ces glissements dans les pays de montagne déterminent parfois de terribles catastrophes. Celle de Ruffiberg près du Righi est restée célèbre, elle se produisit le 2 septembre 1806. Des couches fragmentaires plongeant sous un angle de 45 degrés glissèrent sur un support argileux délayé par les pluies; les villages de Galdau, de Busingen furent écrasés.

Boussingault a donné (1) le récit de deux événements semblables : « Au bas du Talon, pic de la province du Cauca (Amérique méridionale), quelques familles indiennes cultivaient du maïs et de la canne à sucre. Un jour du mois de novembre 1819, à sept heures du matin, on vit, de Riosucio, le Talon s'écrouler en ensevelissant sous ses débris les malheureux cultivateurs. A la base de l'escarpement, des blocs de syénite porphyrique entassés sur une hauteur de 20 à 30 mètres formaient une coulée qui s'étendit jusqu'à 2 kilomètres de distance. Sept ans après l'événement je trouvai l'éboulement recouvert d'une jeune et vigoureuse forêt de mimosas.

« Un fait de désagrégation spontanée aussi bien caractérisée que celui de Talon me fut signalé dans mon voyage de Popayan à Pasto. Je descendais de Murchisa dans la vallée de Guaytara; parvenu à un point où l'on embrassait le cours de la rivière sur une grande étendue, mon guide me fit remarquer sur la rive gauche une énorme protubérance de roches, puis il ajouta : « Là, était l'hacienda del Arguillo. De l'endroit où nous sommes je vis accourir sur la plage et comme affolés les habitants de la ferme fuyant devant un torrent de pierres; on distinguait les maîtres, les esclaves; je les vis s'agenouiller, lever les bras vers le ciel, puis disparaître sous les décombres où ils sont encore. » C'était en 1813, la famille blanche et les nègres formaient un personnel de quatre-vingts personnes. »

La syénite porphyrite de Guaytara est à pâte feldspathique traversée dans tous les sens par de larges et profondes fissures.

L'altération des roches est très variable avec l'abondance des matières attaquables, alcalis, protoxyde de fer qu'elles renferment, et aussi leur structure.

Les *schistes micacés* s'altèrent assez facilement à leur surface, soit par la suroxydation du fer, soit par l'action mécanique de l'eau qui s'interpose entre les feuillets et les sépare au moment des gelées. Les débris de mica sont doux au toucher et constituent un excellent sol, ni trop sec, ni trop humide; mais quand le quartz est abondant, il peut aisément devenir trop sec et trop ferme.

Aux environs de Toulon, dans la presqu'île de Tamaris, le schiste est abondant et donne un sol passable, où la culture de la vigne

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 5e série, t. III, p. 390.

est possible sur les collines ; dans les vallées où les débris sont accumulés, la terre est devenue argileuse et peut être défoncée à plus de 60 centimètres pour planter la vigne.

Les *trachytes*, les *basaltes*, sont d'une dureté qui les rend difficiles à altérer par une action mécanique : mais il suffit d'avoir parcouru les pays à volcans anciens pour avoir vu des basaltes profondément altérés, fournissant des masses sablonneuses rouge foncé ; quelquefois la roche est entièrement changée en une masse argileuse, dans d'autres cas la modification est seulement commencée à la surface. Quand la décomposition est purement mécanique, que la roche ne renferme que peu d'alcalis ou de corps suroxydables, la décomposition est très lente. Le *quartz pur*, le *petrosilex*, le *porphyre quartzifère* ne donnent que peu de terre ; des *gneiss* ne se décomposent aussi que difficilement ; quant aux granites leur décomposition plus ou moins rapide est liée à l'abondance variable des minéraux qui les constituent. « Dans la Corrèze, dans les Cévennes, dans la Bretagne, la prédominance du quartz donne au pays une grande stérilité. Là, tout est solitude, on fait souvent plusieurs lieues sans trouver d'habitation, et l'on ne rencontre que de loin en loin des châtaigniers improductifs. Dans quelques contrées privilégiées comme au nord de Pompadour, le granite, presque entièrement feldspathique, donne une couche végétale de plus d'un pied d'épaisseur, d'une admirable fertilité ; aussi la végétation y déploie toute sa splendeur. Les châtaigniers et les chênes y acquièrent des dimensions généralement inconnues au reste du pays ; et les magnifiques prairies de Pompadour nourrissent les plus beaux bœufs du Limousin. » (Dufrenoy.)

Les *roches calcaires* pures primitives résistent aux agents mécaniques, en raison de leur plus ou moins grande dureté ; mais elles sont attaquées par les eaux pluviales et terrestres chargées d'acide carbonique. On trouve à leur surface une couche terrestre peu épaisse, qui contient toujours des bicarbonates et qui nourrit quelques labiées, le thym, le serpolet, la lavande.

Si la roche présente des fissures, on y trouve des romarins, des genévriers et même de grands arbres comme certaines variétés de pin, notamment le laricio. Quelques espèces s'accommodent bien du calcaire même compacte. Ainsi les essais de reboisement des montagnes calcaires de la Provence ont passablement réussi sur les versants nord, où les jeunes pins échappent à l'ardeur dévorante du soleil ; à l'exposition du sud, le roc est entièrement dé-

nudé, ainsi qu'on peut le voir sur le Faron, qui domine Toulon.

Les *calcaires* plus ou moins sablonneux et argileux sont plus facilement attaqués par les agents extérieurs. Les couches terreuses provenant de ces roches ont généralement peu d'épaisseur, et les récoltes y sont souvent médiocres : la Champagne en fournit un exemple. Dans la craie, les plantes annuelles réussissent mieux que les arbres : sur le versant de la vallée de Grignon exposé au midi se trouve la pièce de la *Défonce*, une mince couche de terre meuble y recouvre du calcaire terreux; bien fumée, elle donne par les années humides des récoltes passables ; mais la *Côte aux Buis* placée à côté et encore boisée ne porte que de rares bouleaux, des ailantes qui s'y multiplient et quelques arbres verts.

Les *grès* purement siliceux sont durs et ne se désagrègent pas plus facilement que le quartz ; mais les *grès verts* qui contiennent de la chlorite, de l'argile, et du fer oxydé, tombent facilement en poussière et forment des couches assez fertiles pour les prairies, quand l'eau est abondante. Dans les points les plus élevés, ils ne portent que des forêts ; les environs de Nogent-le-Rotrou, la région du nord-est en fournissent des exemples.

Détritus organiques. — Aux sables provenant de la désagrégation mécanique des roches quartzeuses ou calcaires, aux argiles dues à la décomposition des roches feldspathiques sous l'influence de l'acide carbonique, à l'oxyde de fer enlevé aux basaltes, aux amphiboles, aux pyroxènes, etc., viennent s'ajouter, dans la terre arable, les résidus des végétations qui s'y succèdent. Ces résidus, qui ont une influence si marquée sur les qualités des terres arables, ne sont pas indispensables cependant pour que certains végétaux puissent se développer; il suffit de parcourir un pays de montagnes pour voir les arbres enfoncer leurs racines dans les anfractuosités des rochers et acquérir un complet développement.

Les mousses, les lichens, recouvrent les roches les plus stériles, pourvu qu'elles y reçoivent, de temps à autre, un peu d'humidité; et l'apparition de ces humbles végétaux favorise singulièrement le développement des plantes de plus grandes dimensions. Chaque végétal qui se développe sur un sol, y meurt et s'y décompose, l'enrichit de sa dépouille : pendant sa vie, il fixe une certaine quantité de carbone, il s'assimile de l'azote et, après sa mort, ces éléments soumis à l'action lente de l'oxygène atmosphérique et sans doute à une fermentation particulière donnent ces produits noirs et complexes désignés sous le nom d'*humus*.

Sa formation a été l'objet dans ces dernières années de travaux importants dus notamment à M. Kostytcheff, de l'Université de Saint-Péterbourg (1). L'auteur s'est particulièrement préoccupé de rechercher l'origine des proportions notables d'azote qu'on trouve dans l'humus des terres noires de Russie, habituellement désignées sous le nom de tchernoizems.

Tandis que les plantes qui couvrent les steppes ne renferment à l'état sec que 1 ou 2 centièmes d'azote, l'humus que fournit leur décomposition en contient 4, 5 et 6 centièmes. Or, quand on abandonne à la décomposition un poids bien déterminé de feuilles de diverses espèces, après y avoir dosé l'azote, on trouve qu'après un séjour sous une cloche fermée pendant sept ou huit mois, ces feuilles ont considérablement diminué de poids, mais que la quantité d'azote constatée à l'origine n'a pas varié.

Le résidu accuse donc une proportion centésimale d'azote plus considérable que la matière végétale primitive, non pas parce qu'il s'est enrichi par un apport extérieur d'azote, mais parce que la matière carbonée a disparu par combustion lente, due à la multiplication, dans la masse, de végétaux cryptogamiques, de champignons, qui ont métamorphosé en acide carbonique une grande partie de la matière carbonée sur laquelle ils ont vécu, tandis qu'ils utilisaient à la constitution de leurs propres tissus les albuminoïdes des feuilles en décomposition.

D'après M. Kotstytcheff, les champignons en se nourrissant des matières organiques les amèneraient à un état favorable à l'action oxydante de l'air, qui agissant sur ces résidus, en présence du calcaire du sol, déterminerait la coloration noire qu'on remarque, quand les corps voisins du tannin s'oxydent à l'air ; c'est sur cette réaction que repose le dosage de l'oxygène au moyen de l'acide pyrogallique et de la potasse.

Les champignons ne sont pas les seuls agents de la décomposition des matières végétales et de leur transformation en humus ; depuis longtemps, Darwin a signalé le rôle important que remplissent les vers de terre.

« ... Les vers tirent également dans leurs trous un nombre infini de feuilles mortes et d'autres débris de plantes, en partie pour boucher les trous, en partie comme nourriture.

« Les feuilles qui servent à ce dernier usage après avoir été dé-

(1) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 17.

chirées en petits fragments, partiellement digérées et saturées avec les sécrétions intestinales et urinaires, sont mélangées à une grande quantité de terre. Cette terre forme l'humus riche et de couleur foncée qui recouvre presque partout la surface de la terre d'une couche ou couverture assez bien marquée. Von Heusen plaça deux vers dans un vase de 45 centimètres de diamètre rempli de sable sur lequel on étendit des feuilles sèches ; celles-ci furent bientôt entraînées dans les trous jusqu'à une profondeur de $7^{cc},5$. Après six semaines environ, une couche presque uniforme de sable d'un centimètre d'épaisseur fut convertie en humus après avoir passé par les canaux alimentaires de ces deux vers (1). »

M. Kotstytcheff a examiné de son côté les résidus provenant des digestions des vers de terre, et il ajoute : « Dans la nature les matières humiques passent plusieurs fois à travers les organismes. Les matières rongées, déposées comme excréments, ne sont plus propres à la nourriture des animaux, mais les champignons et les bactéries s'y établissent, et dans peu de temps toute trace de la structure des plantes qui lui ont donné naissance a complètement disparu. »

Un fonctionnaire anglais, M. Millson, signale en Guinée des plaines fertiles, couvertes de cultures variées, qui doivent leur fertilité aux *façons* continuelles que donnent les vers de terre. « Toute la surface des prairies, dit l'auteur, est couverte de rangs serrés de déjections cylindriques de vers de terre, ayant de 6 à 75 millimètres, en nombre surprenant ; pendant des lieues et des lieues, elles recouvrent le sol, droites, très rapprochées, brûlées par le soleil, en forme de cylindres rigides, de boue durcie qui demeurent jusqu'au moment où la pluie les a réduits en une poudre fine... Si l'on creuse le sol, on voit qu'il est parcouru en tous sens par d'innombrables galeries de lombrics...., c'est là un labourage constant et gratuit et les populations l'apprécient si bien qu'elles ne cultivent pas les endroits où le ver de terre fait défaut (2). »

Enfin M. Wolny a cultivé en pots ou en caisses des terres semblables garnies ou non de vers de terre et il a toujours trouvé que les récoltes étaient plus abondantes dans les sols pourvus de vers de terre que dans ceux qui en étaient dépourvus (3).

En résumé, nous voyons que les agents atmosphériques : oxygène suroxydant les silicates de fer, acide carbonique dissolvant

(1) The formation of vegetale mould, through the action of worms with observations on their habits, by Charles Darwin. Un résumé a paru dans la *Revue scientifique*, 3e série, t. III, p. 65.

(2) *Revue scientifique*, t. XLVII, p. 155, 31 janvier 1891.

(3) *Journal de l'Agriculture*, 1891, t. II, p. 172.

les alcalis, gelée déterminant l'exfoliation, amènent lentement les roches à un état meuble, sur lequel la végétation commence à se développer, ses débris sont la proie d'insectes, d'organismes inférieurs qui contribuent au mélange des diverses parties et à la formation de la matière organique, de l'humus, qui s'accumule en quantité notable dans les terres abandonnées à la végétation spontanée.

Les terres ainsi formées ne restent pas toujours aux endroits où elles ont pris naissance, souvent elles sont entraînées par les eaux et recouvrent de nouvelles surfaces; ces terres sont désignées sous le nom de terres de transport.

§ 103. — Terrains de transport.

Les agents atmosphériques désagrègent et décomposent les roches, les eaux les entraînent rapidement sur les pentes, plus lentement dans les pays de plaine, où elles laissent déposer les matériaux arrachés aux parties hautes de la contrée.

Ce n'est qu'au prix des plus grands efforts que les cultivateurs réussissent à maintenir sur les pentes les terres souvent précieuses par leur exposition. En Provence on compte parfois dans les montagnes dix, douze ou quinze étages de murs de pierres sèches soutenant les terres qui portent les vignes et les oliviers; il en est de même en Auvergne où la partie basse des montagnes apparaît comme un immense escalier dont toutes les parties horizontales ou légèrement inclinées sont couvertes de vignes.

On voit à Menton, où ces travaux sont exécutés avec un grand soin et où les murs maçonnés portent des rigoles destinées à conduire les eaux du sommet de la montagne jusqu'à la vallée, les plantes s'étager les unes au-dessus des autres dans un ordre déterminé par la résistance qu'elles présentent au refroidissement; les orangers et les citronniers occupent les parties basses, à une certaine hauteur ils sont remplacés par de magnifiques oliviers, qui eux-mêmes cèdent plus haut la place à des pins.

Quand les terres meubles ne sont pas maintenues par des constructions ou par le lacis de racines des arbres ou des gazons, elles sont entraînées par les eaux; dans les montagnes élevées, comme les Alpes, les torrents exercent sur les terres dénudées de terribles ravages, qui ne peuvent être prévenus que par des travaux régulièrement conduits. Ceux qui ont été exécutés depuis quelques

années par nos ingénieurs forestiers ont été couronnés de succès et jouissent en Europe d'une légitime réputation (1).

Quand les eaux descendent rapidement des montagnes, elles arrivent dans les plaines chargées de limons. De novembre 1859 à la fin d'octobre 1860, Hervé Mangon a fait mesurer chaque jour la quantité de matières tenues en suspension dans un certain volume d'eau de la Durance, il a pu en déduire la masse totale transportée pendant une année, et a trouvé ainsi que le poids total charrié par cette rivière devant Merindol, pour un débit total de 13 milliards de mètres cube d'eau, a été de 17 millions de tonnes de mille kilogrammes.

« En admettant, ajoute H. Mangon, que ces limons déposés sur le sol pèsent en moyenne 1600 kilogrammes le mètre cube, ce qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de la réalité, leur volume serait de 11 millions de mètres cubes.

« Un volume équivalant à un cube de 220 mètres de côté environ a donc été enlevé aux terrains supérieurs et entraîné sous forme de limon, dans les parties basses du cours de la rivière jusqu'à la mer.

« Si ce limon se déposait entièrement sur le sol il recouvrirait, en un an, d'une couche de $0^{m},01$ l'énorme surface de 110770 hectares.

« Plusieurs des régions les plus riches du département de Vaucluse ont été formées, sans aucun doute, à des époques plus ou moins anciennes par des colmatages de la Durance. Les terres si fertiles des communes de Cheval-Blanc, de Cavaillon, etc., ne doivent leur richesse qu'à une couche de limons semblables à ceux qui sont encore transportés aujourd'hui, déposée sur des terrains caillouteux d'une date plus ancienne. L'étendue des terres couvertes par cette couche de limon est environ de 25,000 hectares. »

Hervé Mangon n'a pas borné ses observations à la Durance ; il s'est encore occupé de plusieurs autres fleuves. De septembre 1864 à août 1865, le Var, qui comme la Durance descend rapidement des Alpes, a entraîné 12 millions de mètres cubes de limons de 1600 kilogrammes. Quelque grandes que soient ces pertes, ce serait cependant une illusion que de supposer qu'il est possible *économiquement* d'exécuter les travaux destinés à utiliser les limons transportés (2).

Les rivières qui parcourent lentement les pays de plaines déposent au fond de leur lit les terres meubles arrachées aux régions supérieures ; le Pô, qui draine toute l'Italie septentrionale, exhausse

(1) Association française pour l'avancement des sciences, 1891. Conférences de M. Demontzey.

(2) Voyez *Annales Agron.*, tome XVII, p. 243.

son lit assez promptement ; il coule maintenant à une hauteur supérieure à celle des toits des maisons de Ferrare. Quand les fleuves chargés de limons débordent, que la vitesse de leurs eaux se ralentit, ils couvrent leurs rives d'une couche de terre meuble d'une haute fertilité ; les débordements réguliers du Nil ont créé l'Égypte.

Ces limons se déposent en bien plus grande quantité aux embouchures des fleuves que dans le reste de leur cours, à cause de l'action qu'exerce sur la coagulation de l'argile le sel marin de l'eau de mer : cette précipitation est facile à montrer dans un cours : si, à l'imitation de M. Schlœsing, on met en suspension de l'argile dans de l'eau distillée, cette argile s'y maintient très longtemps ; mais si on ajoute à cette eau trouble une petite quantité de sel marin, l'argile se coagule et l'eau s'éclaircit. On conçoit, par suite, que les argiles se déposent à l'embouchure des rivières au moment du mélange des eaux douces et des eaux salées et y créent les deltas et les polders. Presque tous les grands fleuves arrivent ainsi à la mer par des embouchures multiples, se frayant difficilement un passage au travers des boues qu'ils ont eux-mêmes accumulées à leur embouchure. Le Nil, le Gange, le Fleuve Rouge du Tonkin, l'Amazone, l'Orénoque, le Nil, le Rhône, le Rhin, le Pô n'arrivent à la mer que par des deltas.

Bien que le limon charrié par la Seine en amont de l'embouchure de la Marne soit seulement de 200,000 tonnes environ, quand elle a reçu la Marne, l'Oise, l'Eure, elle conduit à la mer des troubles assez importants pour qu'il y ait eu avantage à créer sur les bords des endiguements submersibles qui ont donné naissance à d'excellentes prairies.

Les considérations précédentes suffisent à faire comprendre comment les sols des vallées formés par les dépôts de terres meubles provenant des régions supérieures du pays puissent être d'excellente qualité ; il en est de même des sols des anciens lacs d'eau douce, tels que la Limagne d'Auvergne ou les Tchernoïzems de la Russie méridionale : mais il est plus difficile de concevoir comment certains plateaux sont couverts de limons qui constituent des sols excellents.

Dans les pays situés dans le voisinage des montagnes, on conçoit encore que les glaciers qui ont couvert autrefois d'énormes surfaces aient pu transporter des matières meubles, mais dans les plateaux de la Flandre, de l'Artois, de la Picardie, de la Brie, cette cause ne saurait être invoquée. Les géologues ont supposé qu'à la

fin de la période glaciaire une immense inondation boueuse a couvert une partie de l'Europe, puis s'est écoulée à la mer en creusant les vallées; cette hypothèse soulève toutefois de graves objections. Il semblerait que ces masses boueuses aient dû transporter de tous côtés des fragments appartenant à des roches tout à fait différentes de celles qui constituent le pays recouvert ; or ce n'est pas ce qui a eu lieu : on ne trouve jamais de débris passant d'un bassin hydrographique à un autre, même quand ces bassins ne sont séparés que par des plateaux de faibles hauteurs ainsi que cela a lieu par exemple entre la Seine et la Loire.

De même, quand on examine les dépôts argileux des plateaux, on n'y trouve pas de débris appartenant à des terrains plus anciens que ceux qui sont recouverts, aussi une école de géologues croit-elle devoir substituer à l'idée d'un diluvium recouvrant les plateaux celle de résidus de roches sédimentaires dont certaines parties auraient persisté tandis que les autres étaient entraînées par les eaux. On conçoit par exemple que des roches formées d'argile et de calcaire aient pu perdre par l'action continue des eaux des quantités notables de calcaires terreux, laissant au contraire en place des argiles coagulées par la présence même du carbonate de chaux que ces eaux tenaient en dissolution. Ces argiles ne seraient donc pas des terres de transport, mais tout simplement les résidus des roches déposées primitivement, puis modifiées plus tard sur place, par les eaux.

Dunes. — Si les eaux sont souvent les auxiliaires de la culture et favorisent la formation de terres arables d'excellentes qualités, les vents exercent tantôt des actions fâcheuses, et tantôt des actions salutaires.

Sur les bords de la mer ils déterminent la formation des dunes. Pour que celles-ci apparaissent plusieurs conditions sont nécessaires ; il faut que sur une côte basse du sable fin soit rejeté par la mer et soit agglutiné dans une certaine mesure par les pluies ; dans les pays où il ne pleut que rarement, les sables sont transportés par le vent, mais ne peuvent durcir suffisamment pour créer des dunes.

En France, les dunes formées de sables rejetés par l'Océan occupent entre les embouchures de l'Adour et de la Gironde une bande de 300 kilomètres de longueur sur une élévation moyenne de 20 mètres. Les dunes avancent dans l'intérieur des terres de plusieurs mètres par an, car le vent d'ouest les dessèche, les écrête,

et rejette du côté de l'est les parties arrachées au sommet; elles forment un talus sur lequel vient bientôt s'étendre une nouvelle couche de sable qui comme la première a franchi la cime sous l'impulsion du vent. La partie intérieure, plus humide, résiste pendant un certain temps, mais bientôt sa surface se dessèche à son tour, devient pulvérulente, mobile et passe par-dessus le sommet. Quand le vent souffle de l'ouest plusieurs jours de suite, les dunes avancent rapidement et créent un véritable danger pour le pays.

C'est à l'ingénieur Brémontier qu'est due l'idée de planter les dunes : les premiers travaux furent exécutés sur la partie de la côte qui sépare l'Océan de la base des dunes; des semis de graines de pin et de genêt furent protégés d'abord par des branchages fixés en terre et inclinés dans la direction du vent; les graines purent germer et former bientôt un fourré épais qui posa un premier obstacle au passage des sables; derrière cette plantation, après cinq ou six ans, une seconde fut établie sur une largeur de 60 à 100 mètres, puis on commença à planter la dune elle-même.

Les travaux de Brémontier, commencés en 1787, furent continués par M. Chambrelent et couronnés du plus grand succès; non seulement les dunes du département des Landes ont été plantées (1), mais celles du Pas-de-Calais portent également des bois de pins; aux environs de Boulogne, les dunes sont fixées comme celles de notre littoral du sud-ouest.

Si les vents en transportant le sable des dunes non plantées exercent une influence fâcheuse, il peut parfois contribuer à maintenir la fertilité; c'est au moins ce que pense M. Alluard, qui a reconnu que les vents d'ouest qui balayent la chaîne des Dômes située à l'ouest de la Limagne d'Auvergne lui amènent les poussières de ces roches volcaniques, riches en acide phosphorique et en potasse; l'analyse de ces poussières n'ayant pas été faite, cette opinion reste toutefois à l'état l'hypothèse.

CHAPITRE II

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES ARABLES.

La plante ne vit qu'à la condition d'enfoncer ses racines dans un sol stable, aéré et humide : l'étude des propriétés physiques a donc

(1) Voyez, pour l'assainissement des Landes, le chapitre VI, *Stérilité des terres arables.*

essentiellement pour objet l'énoncé des conditions qui assurent dans le sol la fixité des racines, la circulation de l'air et de l'eau : cette circulation est singulièrement facilitée par l'ameublissement du sol que nous réalisons à l'aide des instruments que les hommes ont imaginés aux époques les plus reculées, mais qui ont été profondément modifiés et perfectionnés dans la seconde partie de ce siècle ; or les travaux d'ameublissement sont aisés ou pénibles, suivant que les terres sont lourdes ou légères, tenaces ou sans cohésion et par suite nos études comportent la détermination de la densité des terres, de leur ténacité ; enfin, suivant que la terre s'échauffe ou reste froide, les récoltes sont précoces ou tardives, d'où l'utilité des études qui ont pour but de rechercher comment les terres s'échauffent, comment elles conservent la chaleur, de déterminer leur capacité calorifique.

Ce chapitre se divisera en plusieurs paragraphes.

La terre est formée d'*éléments* dont il convient d'abord d'examiner les propriétés physiques ; quand elles nous seront connues, nous chercherons comment l'*analyse physique du sol* permet de déterminer les proportions dans lesquelles ces éléments sont réunis dans les sols et de ces proportions nous déduirons les *qualités physiques* du sol, qui servent de bases à leur *classification* ; ces propriétés sont profondément modifiées par la nature du sous-sol sur lequel la terre repose ; d'où l'intérêt de l'*étude des sols en place* qui terminera ce chapitre.

§ 104. — Étude des propriétés physiques des éléments constitutifs de la terre arable.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que les agents atmosphériques agissant sur les roches cristallisées en séparaient trois éléments : 1° du *sable* produit par la pulvérisation mécanique des roches, formé soit de silice pure, soit de débris des roches elles-mêmes, fragments de feldspath, d'amphibole, de mica, d'oxyde de fer magnétique, quand le sable provient des terrains primitifs, soit de carbonate de chaux, quand les grains sont dus à la pulvérisation de marbre ou de calcaires compacts des anciens terrains de sédiment ; 2° d'argile plus ou moins colorée par de l'oxyde de fer, produit par la décomposition des roches alumineuses ; 3° de calcaire terreux arraché aux terrains sédimentaires récents, ou tirant son origine des roches renfermant de la chaux, attaquées par les eaux

chargées d'acide carbonique. A ces matières minérales s'ajoute enfin 4° de l'humus dont nous avons décrit le mode de formation probable.

Ce sont ces éléments qui par leur mélange constituent les terres arables, et il est utile de les considérer d'abord séparément, avant de constater comment les proportions dans lesquelles ils sont réunis déterminent les propriétés des terres arables. Pour nous guider dans cette étude il convient de se rappeler, ainsi qu'il vient d'être dit, que l'eau est la condition même de l'existence de la plante et particulièrement des plantes herbacées que nous cultivons ; nous rappellerons que dans le chapitre IX de la première partie, nous avons montré que l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche, dans une de nos plantes de grande culture, implique la circulation dans ses tissus de 250 à 300 kilogrammes d'eau : une récolte de blé de 6000 kilogrammes à l'hectare (grain et paille) exige une consommation de 1,500 mètres cubes d'eau à l'hectare, ou une hauteur efficace de 150 millimètres.

Comment l'eau de la pluie est-elle absorbée par les divers éléments. Tel est, on le conçoit aisément, le premier point à examiner.

§ 105. — Absorption de l'eau par les divers éléments des terres arables.

Pénétration de l'eau de pluie. — Quand l'eau de la pluie tombe sur une surface, elle y pénètre ou s'écoule ; elle coule sur les surfaces dures, polies, *imperméables*, et nous n'avons pas à nous en occuper actuellement, ces surfaces ne constituant pas des terres végétales, mais si l'eau pénètre les divers éléments des terres arables, elle est bien loin de de s'y incorporer avec la même rapidité, ainsi qu'on pourra s'en convaincre par les expériences suivantes :

On dispose des entonnoirs de 10 centimètres environ de diamètre sur des éprouvettes longues et étroites pouvant contenir 100 centimètres cubes d'eau ; on bouche les entonnoirs avec de l'ouate assez lâche pour ne pas empêcher le passage de l'eau, puis on introduit dans l'entonnoir n° 1 : 100 grammes de sable sec, le sable de Fontainebleau employé dans les verreries convient très bien ; 100 grammes de calcaire terreux, de blanc de Meudon, par exemple, sont placés dans l'entonnoir n° 2 ; 100 grammes d'argile plastique dans l'entonnoir n° 3 ; 100 grammes d'humus dans l'entonnoir n° 4. On se procure cet humus en malaxant dans une terrine le terreau des maraîchers, le sable se sépare aisément et tombe au fond du liquide tandis que l'humus reste en suspension,

on le recueille sur une toile garnie d'une feuille de papier et on le laisse se dessécher à l'air.

Quand l'expérience est ainsi disposée, on verse d'un seul coup 100 centimètres cubes d'eau à la surface de chacun des entonnoirs et on reconnaît immédiatement combien est variable la vitesse de pénétration de l'eau dans les divers éléments.

En un instant, toute l'eau disparaît dans l'humus ; ce n'est qu'un peu plus lentement que le sable s'imbibe, mais il s'est emparé de toute l'eau qu'il a reçue, quand le calcaire et l'argile sont encore recouverts d'une épaisse couche de liquide.

Cette expérience ne fait que donner une forme saisissante à une observation courante et on pourrait la juger oiseuse, si elle ne donnait, par la mesure de l'eau écoulée des entonnoirs, une indication précieuse sur l'absorption de l'eau par les divers éléments.

Absorption de l'eau par les éléments. — Après quelques instants, l'eau versée sur les divers éléments commence à couler ; on attend que l'écoulement ait cessé pour mesurer les liquides recueillis dans les éprouvettes ; on reconnaît que l'éprouvette qui reçoit l'eau du sable est presque remplie, celle qui est placée au-dessous du calcaire ne renferme guère que la moitié du liquide introduit, l'argile n'en a laissé filtrer qu'une petite quantité, et l'humus a tout retenu. Pour voir couler le liquide de cet entonnoir, il est nécessaire d'ajouter de nouveau 50 centimètres cubes qui, cette fois, s'échappent presque entièrement.

L'expérience précédente est très bonne à reproduire dans un cours, elle donne même les seules indications à rechercher dans ces essais, car lorsqu'on veut peser les entonnoirs : 1° quand ils renferment les éléments secs, puis : 2° gorgés d'eau, pour en déduire la faculté d'absorption des divers éléments, ainsi que l'ont fait successivement Schubler au commencement du siècle et plus récemment M. Mazure (1), on arrive à des nombres assez divergents.

Voici les chiffres qu'ils ont donnés pour la faculté d'imbibition des éléments : c'est-à-dire pour le poids d'eau retenu par 100 grammes des divers éléments.

	Schubler.	Mazure.
Sable	25	19
Calcaire	85	42
Argile	70	84
Humus	190	103

(1) *Ann. agron.*, t. VIII, p. 161.

On conçoit que ces nombres ne puissent être identiques, les matières étant assez mal définies, l'argile et le calcaire étant plus ou moins mélangés de sable, et l'humus lui-même, inégalement séparé des éléments terreux qu'il renferme toujours.

Quelles que soient ces irrégularités, elles donnent sur la pénétration et l'imbibition des éléments des notions très nettes, qui détermineront les propriétés des terres dans lesquelles domine chacun de ces éléments; on peut les résumer dans les lignes suivantes :

	Pénétration de l'eau au travers des éléments.	Absorption de l'eau par les éléments.
Sable.....	Rapide.	Très faible.
Calcaire.....	Lente.	Dotable.
Argile.....	Très lente.	Très considérable.
Humus.....	Très rapide.	Très considérable.

Pénétration, dans les éléments, des eaux souterraines. — Les terres reçoivent non seulement les eaux de la pluie, elles bénéficient également des eaux souterraines, qui remontent par capillarité jusqu'à la surface et il importe de voir comment les divers éléments se laisseront pénétrer, de bas en haut, par les eaux qui coulent dans le sous-sol sur des couches imperméables.

Pour montrer comment ces eaux s'élèvent, on dispose l'expérience suivante : on coupe des tubes à analyses en fragments de 40 centimètres environ; on évase légèrement, à la lampe, l'une de leurs extrémités que l'on ferme avec des fragments de toile fixés à l'aide d'une cordelette; ces tubes sont remplis : le premier de sable quartzeux blanc bien desséché mélangé avec un tiers de son poids de sulfate de cuivre desséché et devenu blanc par perte de son eau de cristallisation; le second reçoit du calcaire terreux et la même proportion de sulfate de cuivre blanc, le troisième du kaolin sec, également mêlé à du sulfate de cuivre desséché.

On maintient ces trois tubes parallèles à l'aide de fils de fer et on les immerge tous trois, par la partie inférieure, dans un vase renfermant une petite quantité d'eau; aussitôt que le liquide pénètre dans les tubes, il indique son arrivée en ramenant au bleu le sulfate de cuivre; on a ainsi une démonstration saisissante de la rapidité avec laquelle l'eau s'élève par capillarité dans le sable, qui est bleui, jusqu'à l'extrémité du tube, dans l'espace de quelques heures, tandis que, dans le même temps, 2 ou 3 centimètres de la craie et 1 centimètre de l'argile se sont colorés.

Un banc d'argile de quelque épaisseur empêche ainsi l'arrivée des eaux qui se sont infiltrées au-dessous de lui, aux terres superficielles; tandis qu'au contraire des eaux coulant à sa surface s'élèvent facilement dans les sables jusqu'à une assez grande hauteur et permettent souvent la culture de terres qui, au premier abord, paraîtraient absolument stériles.

Absorption de la vapeur d'eau par les éléments des terres. — Les terres ont la propriété de condenser une petite quantité de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Schubler a déterminé cette absorption en maintenant 5 grammes des divers éléments distribués sur une surface de 36 centimètres carrés dans de l'air saturé à 10°; il a trouvé qu'après soixante-douze heures, les éléments n'augmentaient plus de poids; les 5 grammes d'argile avaient pris $0^{gr},245$ d'eau, le sable calcaire $0^{gr},015$, l'humus $0^{gr},600$, une terre arable $0^{gr},100$, le sable siliceux n'avait rien absorbé.

Cette absorption est naturellement accompagnée d'une légère élévation de température, ainsi qu'il arrive toutes les fois qu'une vapeur ou un gaz passent à l'état solide.

L'eau ainsi condensée par la terre exerce sur les plantes une action sensible mais restreinte, ainsi que le montre l'observation suivante due à M. Sachs.

« Je repiquai une plante de Phaseolus multiflorus qui avait crû dans de la terre de champ argileuse, dans un vase de terre poreuse; je la laissai sans l'arroser jusqu'à ce que le sol fût bien sec et que les feuilles commençassent à se faner. Je couvris alors le fond d'un vaste bocal de verre d'une couche d'eau de quelques lignes d'épaisseur; au milieu je plaçai un verre à boire renversé et sur son fond le pot à fleurs. Le couvercle qui fermait le grand bocal était muni d'un trou au travers duquel passait la tige et les feuilles de la plante qui se trouvaient ainsi dans l'air de la chambre. Le vase qui contenait la terre et les racines se trouvait dans le grand bocal dans une atmosphère à peu près saturée de vapeur d'eau. Il s'agissait de voir si le sol condenserait assez de vapeur pour fournir aux racines l'eau nécessaire à la transpiration des feuilles. C'est ce qui arriva; les feuilles flétries se rafraîchirent et restèrent turgescentes pendant deux mois (juin et juillet) sans jamais se faner. Ainsi, bien que le sol parût toujours parfaitement sec et ne dût son eau qu'à la condensation des vapeurs ambiantes, les racines y trouvèrent encore assez d'humidité, pour satisfaire aux besoins du reste peu étendus de la plante. Mais cette quantité d'eau n'était pas suffisante pour développer de nouveaux organes et aucune feuille nouvelle ne s'épanouit (1). »

(1) Sachs, *Phys. végétale*, p. 192.

§ 106. — Évaporation de l'eau par les éléments.

Les éléments ont reçu l'eau de la pluie, se sont imbibés de l'eau du sous-sol, ou ont encore condensé la vapeur atmosphérique, nous les supposons saturés d'humidité : s'ils sont exposés à l'action de l'air ils vont perdre par évaporation une partie de l'eau qu'ils renfermaient; pour mesurer cette évaporation M. Masure a cherché : 1° le temps que mettaient les divers éléments pour arriver à un degré de dessiccation telle qu'ils ne perdaient plus rien par évaporation; il a calculé en outre: 2° la hauteur d'eau évaporée par les éléments pour arriver à cet état de dessiccation où ils cessent de perdre par évaporation; 3° en desséchant à l'étuve les éléments qui ne perdent plus rien par évaporation, il a déterminé la proportion d'eau encore retenue, malgré l'exposition à l'air ; il a trouvé ainsi :

	Temps nécessaire aux divers éléments pour cesser de perdre de l'eau par évaporation spontanée.	Hauteur d'eau évaporée en millimètres. mill.	Quantité d'eau que retiennent encore les éléments qui ne perdent plus rien par évaporation spontanée.
Sable.....	3 jours.	3.7	2.1
Calcaire.....	7 —	3.5	3.6
Argile.....	7 —	4.3	7.0
Humus.....	3 —	4.5	41.0

L'évaporation de l'argile et de l'humus a été plus forte que celle d'une surface liquide de même dimension prise comme terme de comparaison, ce qui peut s'expliquer par leur porosité.

Ainsi, les divers éléments des terres arables, exposées à l'action de l'air, perdent peu à peu une fraction de l'eau qu'ils ont absorbée, mais en retiennent cependant une partie que l'évaporation est impuissante à leur enlever, l'humus est particulièrement remarquable à ce point de vue; il ne cède plus rien à l'air, quand il renferme encore 41 p. 100 d'eau. Cette eau retenue est-elle utilisable par la plante, c'est là un dernier point important à étudier.

La racine, nous l'avons vu, s'attache à la terre, adhère à ses molécules et on conçoit qu'il s'établisse une lutte entre les propriétés absorbantes du sol et celles de la racine : la force capillaire qui entre en jeu dans ce conflit est-elle plus énergique dans le chevelu ? ou bien, au contraire, dans les interstices moléculaires des colloïdes qui constituent le sol ? C'est là ce qui ne peut être décidé que par des essais directs et nous rapporterons quelques expériences exécutées sur ce sujet par M. Sachs.

« Une jeune plante de tabac (1) qui croissait dans un mélange de sable et d'humus noir de hêtre commença à se faner lorsque le sol contenait encore 12,3 de son poids d'eau (déterminée par la dessiccation à $+100^{o}$). Au commencement de l'expérience, il pouvait retenir 46 p. 100 de son poids d'eau; le tabac avait trouvé disponible dans le sol $46 - 12,3 = 33,7$ p. 100 d'eau; les derniers 12,3 p. 100 étaient retenus trop énergiquement pour que les racines pussent les absorber.

« Une autre plante de tabac, tout à fait analogue, se fana pendant une nuit pluvieuse dans une chambre, lorsque le sol argileux dans lequel elle était enracinée contenait encore 8 p. 100 d'eau ; il pouvait en retenir au maximum 52,1 p. 100.

« Dans des circonstances semblables, un troisième tabac enraciné dans du sable quartzeux à gros grains se fana lorsque le sol contenait 1,5 p. 100 d'eau, il en pouvait retenir au maximum 20,8 p. 100. »

Nous voyons donc que les racines du tabac ont cessé d'arracher l'eau aux divers éléments lorsqu'ils en renfermaient des quantités très différentes.

	Quantités d'eau contenues dans 100 parties des éléments quand les tabacs commencent à se flétrir.
Sable et humus	12.3
Argile	8.0
Sable	1.5

§ 107. — Densité, retrait par dessiccation, propriétés calorifiques et ténacité des divers éléments.

L'espace occupé par les divers éléments dans les entonnoirs de l'expérience § 105 relatée plus haut montre immédiatement combien la densité varie de l'un à l'autre, tandis que les 100 grammes de sable n'occupent guère que la moitié de la capacité de l'entonnoir. l'humus le remplit, le calcaire et l'argile sont intermédiaires.

En mesurant 100 grammes de ces diverses matières dans une éprouvette graduée et en tassant légèrement en frappant sous l'éprouvette jusqu'à ce que la masse ne change plus de volume, on constate, pour les densités de ces matières, des nombres voisins de ceux qu'avait donnés Schubler qui trouvait :

	Volume occupé par 100 grammes.
Sable siliceux	$38^{cc},9$
Calcaire	44 ,5
Argile	42 ,4
Humus	81 ,6

(1) *Physiologie végétale*, p. 191.

Si au lieu d'employer ce procédé on détermine régulièrement la densité, on trouve naturellement des nombres un peu plus forts que ceux que donnerait le calcul, s'appuyant sur les volumes déterminés grossièrement par l'expérience précédente

Densité des divers éléments.

Sable siliceux	2.75
Calcaire	2.46
Argile	2.59
Humus	1.12

Retrait des éléments par dessiccation. — Les terres en se desséchant éprouvent un retrait plus ou moins considérable, cause des crevasses qui se montrent dans le sol après les sécheresses quelque peu prolongées. On a évalué ce retrait en mesurant des prismes de terre humide avant et après leur dessiccation à l'ombre.

	1000 parties cubes se réduisent à :
Chaux carbonatée en poudre fine	950
Argile maigre	940
Argile pure	817
Humus	846

Le sable n'éprouve aucun retrait.

Propriétés calorifiques des éléments. — Les déterminations exécutées par Schubler ne conduisent pas à des résultats bien précis; l'humidité d'un sol influe tellement sur son échauffement, qu'elle masque à peu près complètement l'action qu'exerceraient les autres éléments; c'est ainsi que les cultivateurs appellent terres froides les terres argileuses qui retiennent des quantités d'eau notables et qui sont par suite difficiles à échauffer, tandis que les sables qui retiennent très mal l'humidité sont souvent qualifiés de terres brûlantes.

La coloration des sols, à égalité d'humidité, exerce une influence sensible sur leur échauffement par les rayons solaires, les terres noires s'échauffent sensiblement plus que celles qui sont peu colorées ; les radiations échauffent d'autant plus le sol, qu'elles y tombent moins obliquement, l'orientation et l'inclinaison d'un sol exercent donc aussi une action marquée sur son échauffement. Nous aurons occasion de revenir sur ce sujet quand nous examinerons les sols en place.

Ténacité des divers éléments. — Schubler, qui a étudié avec

beaucoup de zèle les propriétés physiques des éléments et des terres elles-mêmes, avait espéré mesurer leur ténacité par diverses méthodes. Il modelait, en prismes de mêmes dimensions, les terres humides qu'il voulait éprouver; quand la dessiccation avait eu lieu, il enlevait les moules, plaçait les deux extrémités des prismes sur des supports de bois, puis suspendait au milieu un plateau chargé de poids jusqu'au moment où la rupture avait lieu.

Pour mesurer l'adhérence de la terre au bois ou au fer employés dans la construction des instruments agricoles, Schubler fixait des disques de bois ou de fer au plateau d'une balance : la terre étant maintenue à son maximum d'humidité, on appuyait le disque de façon à déterminer l'adhérence, puis on chargeait le plateau opposé de poids de plus en plus forts jusqu'au moment où l'adhérence était vaincue.

Les nombres qu'il a donnés ne représentent pas autre chose que la notion courante que l'argile est tenace et que le sable ne l'est pas, nous ne croyons pas devoir les transcrire; ils varient énormément suivant que l'adhérence a été obtenue plus ou moins complètement, deux expériences exécutées dans des conditions qui paraissent identiques conduisent à des nombres différents et par conséquent les évaluations de Schubler n'ont pas la valeur qui leur a été longtemps attribuée (1).

ÉTUDE DES TERRES AU LABORATOIRE.

§ 108. — Analyse physique des terres.

Nous venons de voir que les propriétés des divers éléments des sols : sable, calcaire, argile ou humus sont très différentes, et on conçoit que les proportions dans lesquelles ils sont associés dans les terres déterminent leurs propriétés physiques : l'analyse physique des sols donnera donc sur leurs qualités des indications précieuses et il est nécessaire d'indiquer comment on trouve les poids des divers éléments qui les constituent.

Prise d'échantillons. — C'est là une première opération fort délicate, car de sa perfection dépendra l'exactitude de toutes les opérations qui porteront sur l'échantillon prélevé. Quand le champ à examiner est quelque peu étendue, il convient d'abord de le parcourir, pour reconnaître s'il est homogène ; si cette condition n'est pas remplie, il faudra prendre autant d'échantillons

(1) Le lecteur désireux d'approfondir ce sujet trouvera une analyse mathématique très bien faite, du travail moteur dépensé dans le labour, dans un mémoire de feu Grandvoinnet, ancien professeur de génie rural à l'Institut agronomique et à l'École de Grignon, inséré dans le t. VIII des *Ann. Agron.*, p. 555.

qu'on reconnaîtra à la vue, à la main, à l'aspect des récoltes, de natures de sols différentes.

Quand cette première exploration est terminée, on pratique sur les différents points du champ dont l'on veut connaître la composition physique de petites tranchées à la bèche, puis on enlève sur la paroi verticale d'une de ces tranchées un prisme de la hauteur de la bèche enfoncée jusqu'au manche et on étend ce prisme, sur un linge ou une brouette, on répète cette prise d'échantillons sur plusieurs places différentes pour chaque partie du champ; à Grignon nous prenons en huit places ; toute la masse de terre ainsi réunie servira à former un premier échantillon bien mélangé; on procède immédiatement de la même façon, pour constituer un second échantillon, dont l'analyse sera menée parallèlement à celle du premier.

Si la recherche a pour but de connaître la quantité d'eau contenue dans le sol au moment de la prise d'échantillons, on étalera sur du papier une partie de la terre apportée du champ, on la mélangera à la main, puis on prendra dans la terre fine, en éliminant les cailloux, deux fois 10 grammes qu'on portera à l'étuve, et qui seront pesés après dix ou douze heures; on s'assurera par deux pesées faites à une heure d'intervalle que le poids est devenu invariable.

Les échantillons de terre abandonnés à l'air pendant quelques jours, s'ils sont trop humides, servent à constituer des lots de 1 kilogramme à 1500 grammes qui sont réservés pour l'analyse.

Séparation des cailloux et de la terre fine. — On doit d'abord procéder à la séparation des cailloux, on pèse grossièrement au décigramme, 200 grammes de terre, et on la jette sur un tamis à mailles de 1 millimètre de côté, à dix fils par centimètre; on sépare, par une première agitation, une partie de la terre fine, mais il en reste une fraction importante sur le tamis formant de petites masses agglomérées, on les brise dans un mortier en triturant légèrement sans casser les cailloux, on fait encore passer au tamis, et c'est seulement quand, à la suite d'une série d'opérations semblables, on a bien dégagé les pierres de la terre agglutinée, qu'on pèse le résidu resté sur le tamis, on porte au tableau de l'analyse le poids des cailloux et de la terre fine; en arrosant les pierres d'eau aiguisée d'acide chlorhydrique, on voit immédiatement si ces pierres sont calcaires par l'effervescence qu'elles produisent; si l'acide ne détermine aucune effervescence, les pierres sont siliceuses.

Analyse de la terre fine. — On procède à l'analyse de la terre fine par la méthode de M. Schlœsing, universellement employée aujourd'hui, dans les laboratoires de chimie agricole.

On pèse 5 grammes de terre fine, on les introduit dans une petite capsule de porcelaine, l'on arrose d'un peu d'eau distillée, et on commence à frotter la terre avec le doigt de façon à séparer l'argile du sable, on ajoute un peu plus d'eau et, en continuant à frotter avec le doigt, on voit bientôt cette eau devenir bourbeuse; on la décante lentement dans un grand verre pour ne pas entraîner le sable qui se dépose rapidement au fond de la capsule. On continue à frotter, en ajoutant de l'eau et la décantant jusqu'à ce que l'eau ajoutée reste limpide, ce qui montre que toutes les parties terreuses ont été enlevées et que le résidu contenu dans la capsule est bien du sable pur; on le sèche, on le pèse et on trouve ainsi un premier lot, qui sera porté au tableau de l'analyse sous le nom de sable grossier.

Le sable fin, le calcaire terreux et l'argile se trouvent réunis dans le grand verre où l'on a versé les eaux de décantation; on verse par petites portions de l'acide nitrique en agitant chaque fois à plusieurs reprises, jusqu'à ce que le calcaire étant dissous le liquide soit encore acide. Dès le début de ce traitement, on remarque que le liquide, resté trouble après les décantations, s'éclaircit rapidement par le repos : l'argile est en effet coagulée par le sel de chaux formé; mais le fait se reproduit avec la même régularité, quand la terre est absolument dépourvue de calcaire; il est dû alors à la seule présence de l'acide libre.

L'argile étant coagulée, on filtre et on lave le filtre jusqu'au moment où l'eau de lavage commence à passer trouble; c'est la preuve que tout le calcaire ou tout l'acide ont été enlevés par les lavages. L'eau limpide qui passe sous le filtre renferme la chaux; on sature d'ammoniaque qui ne donne qu'un précipité insignifiant si l'acide a été ajouté par petites portions; si le précipité était important on essaierait de le redissoudre dans l'acide acétique qui le fera disparaître. On ajoute alors dans le liquide de l'oxalate d'ammoniaque, on maintient à une faible ébullition pendant deux ou trois heures, de façon à rassembler l'oxalate de chaux, on s'assure par une nouvelle addition d'oxalate d'ammoniaque que toute la chaux a bien été précipitée, on filtre, on lave le filtre, on le sèche, on fait tomber le précipité dans une capsule de platine, on calcine au rouge sombre le précipité, puis son filtre, et on pèse le carbonate de chaux provenant de la décomposition ignée de l'oxalate; si on craint d'avoir produit par la calcination un peu de chaux vive, on la rétablit à l'état de carbonate, en arrosant la capsule avec une dissolution concentrée de carbonate d'ammoniaque; on dessèche à l'étuve et on pèse.

L'argile, le sable fin et l'humus sont restés sur le filtre, on crève celui-ci à l'aide d'une baguette de verre; avec la pissette à jet, on fait tomber tout le précipité dans un verre, on ajoute 1 ou 2 centimètres cubes d'ammoniaque pour maintenir l'humus en dissolution et on abandonne au repos pendant vingt-quatre heures, le sable fin se dépose, tandis que l'argile reste en suspension: on décante le liquide, on recueille sur un filtre le dépôt formé, on le sèche et on le pèse, c'est le sable fin.

On remarque le plus souvent à la surface du sable une pellicule brune que la dessiccation contracte et sépare nettement du sable; elle consiste principalement en matière organique, riche en oxyde de fer comme le témoigne la combustion. Le sable doit être à très peu près dépourvu de cohésion : c'est signe que l'argile en a été bien séparée.

Le liquide argileux est coloré par un humate multiple d'ammoniaque, d'oxyde de fer et d'alumine. En neutralisant l'ammoniaque et en acidifiant légèrement, on précipiterait à la fois l'argile et la matière organique; le dosage de l'argile serait trop élevé. Il vaut mieux séparer, autant que possible, les deux substances, en dissolvant quelques grammes de chlorhydrate d'ammoniaque dans le liquide alcalin : l'argile est coagulée et l'humate demeure dissous; toutefois l'argile en entraîne une petite quantité. Lorsque le liquide a été clarifié par un repos suffisant, on en décante le plus possible; le reste est versé avec l'argile sur un filtre taré; on lave, on sèche à 100° et l'on pèse. La dose de chlorhydrate d'ammoniaque à employer pour coaguler l'argile varie selon la quantité d'humate en dissolution; il en faut jusqu'à 20 grammes lorsque celui-ci est très abondant.

En saturant enfin le liquide filtré par l'acide chlorhydrique, on précipite l'humus qu'on recueille sur un filtre, qu'on sèche et qu'on pèse.

Le tableau de l'analyse portera donc :

Cailloux.

Terre fine..... { Sable grossier. / Calcaire terreux. / Sable fin. / Argile. / Humus.

Le procédé que nous venons d'indiquer donne avec exactitude le sable grossier et le calcaire, la séparation du sable fin et de l'argile est un peu arbitraire : les chiffres trouvés varient avec le temps pendant lequel on abandonne au repos le mélange d'argile et de sable fin ; le dépôt de ce dernier augmentant à mesure que le repos est plus prolongé. Enfin la séparation de l'humus n'est pas complète, une partie est entraînée par l'argile.

Nous indiquerons au reste dans le chapitre consacré à l'analyse chimique de la terre arable les procédés à employer pour arriver à une connaissance plus complète des proportions de cet élément.

§ 109. — Constitution physique des terres.

L'association des éléments dont nous venons d'apprendre à fixer les proportions constitue la terre.

Il importe d'abord de bien comprendre comment ces éléments sont associés, comment la terre forme un agrégat qui n'est pas détruit par les mouvements constants des eaux qui coulent à la surface ou s'y infiltrent ; il est d'autant plus important d'insister sur ce point que nous avons vu dans les paragraphes précédents que l'argile se laisse entraîner par l'eau et se sépare du sable avec une grande facilité ; d'où l'on pourrait s'étonner que, depuis des siècles, toutes les terres des plateaux n'aient pas cédé leur argile aux vallées, le sable seul persistant sur les hauteurs.

Pour comprendre comment l'argile reste mélangé au sable, il faut se rappeler la belle expérience de M. Schlœsing décrite page 362 ; il faut se souvenir que l'argile si facilement entraînée lorsqu'elle est en suspension dans l'eau distillée se coagule et tombe au fond des liquides lorsque l'eau qui la tenait en suspension se charge de calcaire ; cette importante observation nous enseigne immédiatement l'utilité de deux éléments essentiels des terres : le calcaire et l'humus.

Le calcaire, à la condition d'être dissous, agit sur l'argile pour la coaguler, la fixer, la maintenir au contact du sable, mais, nous

le répétons, pour que cette condition soit remplie, il faut que le calcaire soit dissous, or il l'est dans le sol, par l'acide carbonique que forme la combustion constante de l'humus.

On sait que l'atmosphère confinée dans la terre arable est toujours chargée d'acide carbonique, celui-ci dissout le calcaire, les eaux sont dès lors capables de coaguler l'argile, qui agglutine le sable et forme avec elle une masse cohérente, résistante, que les eaux animées d'une grande vitesse sont seules capables d'entraîner.

Le rôle de l'humus ne se borne pas à fournir l'acide carbonique nécessaire pour que le carbonate de chaux coagule l'argile, il sert par lui-même à lier entre elles les particules de sable, il les agglutine, les enveloppe, comme l'argile elle-même.

En mélangeant du sable avec de l'humate de chaux, on peut l'englober, le pétrir et lui donner une forme qui persiste à la dessiccation ; les masses durcissent et résistent à l'action de l'eau sans que les éléments se séparent ; une faible proportion d'acide humique suffit pour agglutiner le sable, donner de la cohésion à une terre trop légère.

Ce qui est en outre fort inattendu, c'est que si l'acide humique, ciment organique des terres sablonneuses, vient parfois suppléer à l'argile, ciment minéral des terres fortes, il peut encore en tempérer les effets.

Ces deux substances sont essentiellement colloïdales, si leurs parties étaient étroitement soudées les unes aux autres elles formeraient une masse continue plastique, imperméable, et il semblerait que si, à une terre déjà riche en argile, dans laquelle le ciment domine par rapport au sable qu'il s'agit d'agglomérer, vient s'ajouter de l'humus, la cohésion et la plasticité deviendront excessives ; il n'en est rien, les effets au lieu de s'ajouter se contrarient : une argile mêlée d'humate est moins plastique que lorsqu'elle en est privée. Les deux colloïdes semblent s'entraîner l'un l'autre dans les précipitations et former ainsi un mélange qui ne ressoude plus par la dessiccation aussi facilement que lorsqu'ils sont isolés (Schlœsing).

Il faut donc se figurer une terre comme un agrégat doué de parties possédant des propriétés absolument différentes, mais qui sont capables cependant de s'associer pour former une masse douée d'une certaine cohésion et capable de résister à l'action des eaux.

Qualités à rechercher dans une terre arable. — Une terre pré-

sente des propriétés physiques favorables au développement des végétaux quand elle est *perméable* à l'air et à l'eau, *immobile* et *continue*.

On dit qu'une terre est *perméable*, quand elle se laisse traverser par l'eau, ce qui implique toujours qu'elle sera, aussi, bien aérée.

Elle est *immobile*, quand elle résiste à l'action du vent et à celle de l'eau, à celle de la gelée; si elle s'envole quand le vent est violent, qu'elle se fendille par les sécheresses, qu'elle se soulève par la gelée, elle est au contraire *mobile*, les racines y sont mises à nu, desséchées et la végétation toujours languissante.

La terre qui se fendille, au moment des sécheresses, est *discontinue*, ces crevasses empêchent la circulation de l'eau, la diffusion des engrais, qui ont lieu facilement au contraire dans une terre *continue*.

Examinons maintenant comment ces diverses qualités, mises particulièrement en lumière par M. P. de Gasparin (1), sont liées à la constitution physique des terres.

Il est manifeste que des grains de sable pur sont absolument indépendants les uns des autres, ils sont facilement entraînés par le vent ainsi qu'on le voit dans les dunes, une terre exclusivement sablonneuse est donc essentiellement *mobile*.

Passons à l'autre extrémité de l'échelle, nous trouverons de l'argile pure, dont toutes les particules soudées les unes aux autres seront *imperméables* à l'air et à l'eau, susceptibles d'éprouver pendant les grandes sécheresses de profonds retraits, la terre sera fendillée de profondes crevasses. Elle sera *discontinue* et *imperméable*.

Si la terre est purement calcaire, ses éléments n'opposeront pas à la force expansive de la gelée une résistance suffisante, l'eau qui les imprègne ne sera pas profondément emprisonnée comme dans l'argile, ces sortes de terre se soulèveront par la gelée, elles seront *mobiles* et *discontinues*.

Tous ces défauts s'atténuent par le mélange en proportions convenables des divers éléments; les particules de sable forment la partie solide de la terre qui est cimentée par l'argile; pour que celle-ci ne se délaie pas dans l'eau, pour qu'elle ne se laisse pas entraîner, il faut, ainsi qu'il a été dit, que cette argile soit coagulée, ce que produit le calcaire dissous par l'acide carbonique de l'humus.

(1) Traité de la détermination des terres arables au laboratoire (Masson).

Une terre dans laquelle les divers éléments sont ainsi associés présente les trois propriétés fondamentales que nous devons y chercher; elle est *perméable* grâce au sable, *immobile* grâce à l'argile, *continue* enfin, car cette argile coagulée, séparée par les grains de sable, n'éprouve plus le retrait des argiles pures.

On conçoit aisément que ces diverses qualités s'amoindriront aussitôt qu'un des éléments dominera sur les autres et que, par suite, on ait classé les terres d'après les proportions dans lesquelles elles renferment les deux éléments dominants : sables et argiles.

§ 110. — Classification des terres.

On a essayé à bien des reprises différentes de procéder à une classification régulière sans y réussir complètement; généralement on distingue deux grands groupes, les terres argileuses ou terres fortes et les terres sablonneuses ou terres légères, qui se rejoignent au moment où aucun élément ne domine sur les autres pour former les terres franches.

Pour désigner les terres on écrit le nom de la famille à laquelle elles appartiennent : terres franches, argileuses, etc., quand un second élément domine après le premier, on termine celui-ci en 0, puis on ajoute le nom du second élément, on forme ainsi le tableau suivant :

1° Terres franches.

2°	Terres	argilo-siliceuses.	6°	Terres	sablo-argileuses.
3°	—	argilo-calcaires.	7°	—	sablo-calcaires.
4°	—	argilo-humifères.	8°	—	sablo-humifères.
5°	—	argileuses.	9°	—	sablonneuses.

10° Terres calcaires.

Le tableau précédent indique la distribution des terres en classes différentes et nous allons voir rapidement comment il est possible de déduire des proportions dans lesquelles les divers éléments y sont associés, les qualités ou les défauts qu'elles présentent.

La terre franche constitue la terre arable la plus parfaite, elle présente en effet toutes les qualités que nous recherchons ; elle est perméable à l'eau et à l'air grâce à la quantité de sable qu'elle renferme, elle le sera d'autant plus que le sable sera plus abondant, mais d'autre part elle conservera l'eau d'autant mieux que l'argile et le sable fin y seront en plus forte proportion; avec 30 d'argile et de sable fin, cette propriété sera au maximum, tandis que la

perméabilité sera moindre; si le sable grossier s'élève à 70, l'argile et le sable fin à 20, la perméabilité sera complète, mais la dessiccation deviendra trop rapide. Cette terre sera *immobile*, car non seulement l'argile y est en proportions suffisantes pour cimenter le sable, mais en outre cette argile sera bien coagulée par le calcaire dissous par l'acide carbonique de l'humus, enfin la proportion d'argile sera trop faible pour que la dessiccation amène un retrait considérable, la terre sera donc *continue*. C'est peut-être cependant cette qualité qui est la plus rarement obtenue d'une façon complète; les terres qui ne se fendillent pas à la suite de longues sécheresses sont peu nombreuses.

Le second groupe comprend les quatre classes dans lesquelles domine l'argile; la classe n° 2, la terre **argilo-siliceuse** confine à la précédente, mais l'argile s'y exagérant, elle peut devenir *imperméable* à l'air et à l'eau, en revanche elle conservera bien l'humidité; si le calcaire y est peu abondant, elle sera facilement *mobile*, l'argile étant entraînée par les eaux, enfin elle sera *discontinue*, pendant les sécheresses, les fendillements étant nombreux et profonds. — On remédie aux deux derniers défauts par l'apport de marne ou mieux de chaux qui coagule l'argile, l'empêche de former une masse délayable, et encore par des fumures énergiques qui diminuent, ainsi que nous l'avons vu, la plasticité de l'argile; quant à l'imperméabilité on en triomphe par le drainage, par des travaux très soignés, par des apports de matières sablonneuses toutes les fois qu'ils ne sont pas trop onéreux; ces terres bien travaillées, bien drainées, deviennent de première qualité, ce sont elles qui portent dans le Nord et le Pas-de-Calais ces grandes récoltes de blé atteignant 70 hectolitres à l'hectare.

La troisième classe comprend les terres **argilo-calcaires**; l'imperméabilité peut encore résulter de la faible proportion de sable, mais l'argile coagulée est moins délayable, elle se fendille plus difficilement, de telle sorte que ces terres sont en général *continues* et *immobiles*.

La quatrième classe comprend les **terres argilo-humifères**; l'abondance de l'humus indique que ces sols sont *imperméables*, l'humus n'atteignant de grandes proportions que dans les sols où l'air pénètre difficilement. Les vieilles prairies des vallées présentent souvent cette composition, elles portent toutes les plantes des sols trop humides; ces sols exigent impérieusement des assainissements au moyen de fossés, les amendements calcaires y réus-

sissent parfois d'une façon remarquable ; avec du plâtre et du nitrate de soude, j'ai réussi à doubler le rendement de prairies établies dans la vallée de l'Avre, qui ont donné de 7 à 8000 kilos de foin à l'hectare au lieu de 3 à 4000 qu'elles fournissent habituellement.

Quand, au lieu de dominer seulement sur le sable, le calcaire ou l'humus, l'argile forme avec le sable fin plus de 40 p. 100 de la masse, on arrive aux **terres argileuses**, *imperméables*, *discontinues*, et *mobiles;* ce sont des terres d'un travail très difficile ; impénétrables à l'automne, qui se lissent facilement quand elles sont labourées dans un moment inopportun, elles forment alors des masses compactes, dures, qu'on ne brise que très difficilement. Les drainages, les chaulages, la culture en billons sont nécessaires pour triompher de ces sols rebelles, qui souvent se couvrent spontanément d'une végétation herbacée indiquant leur destination naturelle, qui est de constituer des prairies.

Le troisième groupe comprend les terres dans lesquelles l'élément dominant est le sable. Les terres **sablo-argileuses** confinent aux terres franches, mais sont plus légères, plus faciles à travailler, très *perméables*, elles exigent des fumures fréquentes, elles sont *continues*, mais peuvent devenir *mobiles* si le sable n'est pas bien cimenté par l'argile.

On y remédie à l'aide des fumures de fumier de ferme consommé riche en humus ; les amendements calcaires doivent être proscrits, ils exercent une influence fâcheuse, en exagérant la perméabilité.

La classe VII comprend les terres **sablo-calcaires**, elles sont encore très perméables, comme les précédentes elles se dessèchent aisément, elles peuvent être *continues*, mais *mobiles*, les apports d'argile par le colmatage y sont naturellement avantageux ; comme les précédentes elles exigent des fumures fréquentes de fumier de ferme ; le sainfoin s'y développe aisément.

La classe VIII comprend les terres **sablo-humifères**, elles sont en général situées dans le fond des vallées, elles peuvent être avantageusement assainies par des fossés d'écoulement, elles sont continues ; elles acquièrent des qualités précieuses quand elles sont amendées avec du calcaire ; les houblonnières sont souvent établies dans des terres de cette nature ; elles sont particulièrement précieuses pour certaines plantes de jardin.

La classe IX comprend les terres **sablonneuses**, excessivement

perméables, ne conservant pas l'humidité, *continues*, mais très *mobiles*, elles deviennent absolument stériles dans les pays secs et ne peuvent être que boisées en résineux, mais sont au contraire excellentes quand elles sont arrosées; avec de copieuses fumures elles portent alors des cultures de légumes et de fleurs très rémunératrices.

La classe X est formée par les terres essentiellement calcaires, elles sont perméables, mais se dessèchent vite, absolument mobiles, elles se soulèvent par la gelée, ou s'envolent pendant les sécheresses, la culture en est très difficile, le boisement est parfois la seule méthode à employer pour en tirer quelque parti.

ÉTUDE DES SOLS EN PLACE.

L'analyse physique d'un sol donne déjà, ainsi qu'on vient de le voir, quelques indications sur sa valeur; cependant avant d'établir un plan de culture, avant de choisir les plantes qui paraissent avoir le plus de chances de réussir, avant d'entreprendre des travaux d'amélioration, il est indispensable de compléter les indications qu'on tire de l'analyse exécutée au laboratoire, par l'examen des sols en place.

Si le pays est accidenté, cet examen présente notamment un très grand intérêt; dans le centre de la France où la culture de la vigne est si souvent avantageuse, la plantation à mi-côte sur un versant exposé au midi donnera de meilleurs produits que ceux qu'on tirerait d'une pièce située en plaine et plus exposée à la gelée, ou qu'une autre tournée vers le nord, où la maturation sera moins complète.

Cet examen du sol en place ne devra pas se borner à une simple promenade, il faudra en outre faire exécuter quelques fouilles pour connaître l'épaisseur de la couche arable et la nature du sous-sol. Un sol, qui présenterait à l'analyse physique la composition d'une excellente terre franche, pourra cependant n'avoir qu'une médiocre fertilité, si à quelques décimètres on rencontre un sous-sol dur, compact, non ameubli; la nature de ce sous-sol indique en outre souvent quelles sont les cultures à établir; nous devons donc indiquer d'abord les avantages que présente un sous-sol ameubli, et voir ensuite comment les propriétés physiques des sols sont modifiées par la nature des sous-sols qu'ils recouvrent.

§ 111. — Utilité de l'ameublissement du sous-sol.

La nature du sous-sol, son degré d'ameublissement méritent, disons-nous, un examen attentif; en effet, le sous-sol renferme souvent de précieuses réserves d'humidité, et c'est là une des raisons qui ont conduit les cultivateurs à employer les charrues fouilleuses, qui sans retourner le sous-sol et sans le mêler aux couches superficielles, enrichies par les engrais, permettent aux eaux surabondantes d'y pénétrer, de s'y emmagasiner pour remonter à la surface pendant les sécheresses.

M. Pagnoul a donné il y a quelques années (1) un excellent exemple de l'action qu'exerce le sous-sol comme régulateur d'humidité. Pendant quatre périodes qui s'étendent de la fin d'avril à la fin d'octobre, l'auteur a déterminé à l'aide d'un pluviomètre les quantités d'eau tombées, et les a calculées pour la surface d'un are; il a calculé en outre l'évaporation du sol d'après les chiffres trouvés par un évaporomètre Piche, en admettant que l'évaporation de la terre fût la même que celle de l'eau libre; enfin il a pris un grand nombre d'échantillons de terre dans la première couche de 5 centimètres, puis dans une autre à 30 centimètres, d'où il a pu conclure la quantité d'eau que la terre renfermait, aux diverses époques d'observation.

Influence du sous-sol sur l'humidité du sol.

	1re période. 30 avril-30 mai.	2e période. 30 mai-9 juillet.	3e période. 9 juillet-7 sept.	4e période. 7 sept.-27 oct.
Pluie tombée..	470 litres.	11520 litres.	8820 litres.	14340 litres.
Évaporation...	8770 »	7520 »	14490 »	4650 »
Perte ou gain du sol.....	— 2535 »	+ 3555 »	— 615 »	+ 1545 »
Fourni ou gagné par le sous-sol.....	— 5765 »	+ 445 »	— 5055 »	+ 8145 »

Pendant la première période la pluie est rare, l'évaporation active et les déterminations exécutées du 30 avril au 30 mai montrent que pendant cette période les 30 centimètres de la couche superficielle de l'are considérée ont perdu infiniment plus d'eau qu'ils n'en ont reçu; si on suppose que la terre a laissé évaporer autant d'eau que l'évaporomètre, ce qui n'est sans doute pas tout

(1) *Annales agronom.*, t. VII, p. 21.

à fait exact, mais ce qu'on peut admettre pour trouver la marche du phénomène, la terre a fourni la différence entre 8,770 et 470 = 8,300. Or la quantité perdue par le sol est de 2,535 litres. Le sous-sol a donc dû fournir la différence entre 8,300 et 2,535, c'est-à-dire 5,765 litres.

Pendant la deuxième période du 30 mai au 9 juillet la pluie est abondante, elle surpasse l'évaporation, le dosage de l'humidité du sol indique cependant qu'il n'a pas retenu toute la différence qui existe entre l'eau tombée et l'eau évaporée, le sous-sol cette fois a récupéré une petite quantité de l'eau perdue; du 9 juillet au 7 septembre, le sous-sol abandonne encore une large provision d'eau et c'est seulement pendant les grandes pluies d'automne qu'il recueille les excédents d'humidité que le sol ne peut plus contenir. Si les observations eussent été continuées pendant l'hiver, on aurait trouvé sans doute que pendant cette période le sous-sol s'est largement approvisionné de l'humidité qu'il dépense pendant la bonne saison, époque à laquelle il perd plus qu'il ne reçoit. Nous verrons un peu plus loin comment les travaux exécutés par le cultivateur ont précisément pour but de favoriser ou de retarder les mouvements de l'eau descendant de la surface aux couches profondes ou réciproquement remontant jusqu'au sol superficiel.

§ 112. — Influence de la nature du sous-sol.

La fertilité est étroitement liée à la façon dont sont associés le sol et le sous-sol. Nous examinerons successivement les propriétés des

Terres légères reposant sur un sous-sol { perméable. / imperméable.
Terres fortes reposant sur un sous-sol { perméable. / imperméable.

Nous ne distinguons, comme on le voit, que deux variétés de terre : toutes les terres sablonneuses appartiennent à la première catégorie, toutes les terres argileuses à la seconde; les terres calcaires appartiennent plutôt à la première et les terres humifères à la seconde, quant aux terres franches placées à la limite des terres légères et des terres fortes, elles seront rangées dans l'une ou l'autre classe suivant qu'elles seront plus voisines de l'une que de l'autre.

Terres légères et sous-sol perméable. — Une terre semblable est absolument soumise aux conditions climatériques ; si le climat est sec, la stérilité peut être complète ; le manque d'eau se fait en

général cruellement sentir, et la population est clairsemée ; quand cette terre est calcaire on la boise avec avantage, les conifères qui n'évaporent que de faibles quantités d'eau s'accommodent de la sécheresse des terres de cette nature ; les *savarts* de la Champagne, dans l'Aube ou la Marne sont aujourd'hui partiellement couverts de pins sylvestres ou de pins noirs d'Autriche dans lesquels on entremêle des bouleaux.

Le mouton est l'animal qui s'accommode le mieux des maigres pâturages des terres sèches. Par des apports de fumier, on réussit parfois à donner au sol une certaine quantité d'humus, qui le rend apte à retenir l'eau, la culture devient possible. Les engrais verts sont également à recommander, mais la terre après leur enfouissement doit être vigoureusement roulée, pour empêcher qu'elle ne se soulève.

Il est manifeste que lorsque le sol au lieu d'être crayeux ou sablonneux passe à la terre franche, la culture peut être rémunératrice, mais l'abondance est subordonnée aux conditions saisonnières; les récoltes les plus fortes sont obtenues dans les années humides. Notre terre de Grignon repose sur un sous-sol perméable : dans les parties où le sol a été raviné par les pluies sur les pentes supérieures des coteaux elle est très sèche et les bois y sont maigres, ils portent quelques bouleaux et des ailantes, les arbres verts y viennent également; à flanc de coteau apparaissent des sources qui coulent sur une couche argileuse, aussitôt la végétation devient luxuriante, les arbres acquièrent de grandes dimensions, les ormes, les platanes y prospèrent; même dans la vallée où la couche arable est profonde, les années pluvieuses donnent des récoltes bien plus abondantes que les années sèches. En 1888, les meilleures parcelles du champ d'expériences ont fourni la valeur de 60 hectolitres de blé à l'hectare, tandis qu'on n'en a obtenu que 34 dans les parcelles les plus favorisées en 1889; or en 1888 la pluie a été abondante et on n'a moissonné qu'au milieu d'août, tandis qu'en 1889 la moisson a eu lieu le 25 juillet.

Quand les terres légères à sous-sol perméable sont irriguées, elles peuvent devenir excellentes, les belles prairies des Vosges sont souvent établies sur de mauvais pacages caillouteux et improductifs qui ont été transformés par les irrigations; la perméabilité du sol permet de les rendre extrêmement abondantes. Hervé Mangon a donné une étude très étendue de ces irrigations, il y montre que les quantités d'eau employées sont énormes, ces eaux étant des-

tinées non seulement à fournir à la plante son alimentation aqueuse, mais encore les autres principes nutritifs qu'elles renferment en dissolution.

En résumé, les terres de cette nature souffrent habituellement de la sécheresse ; si le climat y amène des pluies abondantes, ou si l'irrigation y est possible, leur principal défaut disparaît et elles peuvent devenir très fertiles ; les fumures de fumier de ferme consommé médiocrement copieuses mais fréquemment renouvelées y sont particulièrement avantageuses.

Terres légères à sous-sol imperméable. — Ces terres sous un climat médiocrement humide ont des valeurs très différentes suivant qu'elles sont inclinées ou qu'au contraire elles sont *plates*.

Ces terres inclinées sont très généralement couvertes de prairies permanentes ; dans l'étude qu'il a faite du bassin parisien, Belgrand (1) a formulé la loi suivante : « Les prairies naturelles sont établies non seulement au bord des cours d'eau des terrains imperméables, mais encore à flanc de coteau jusqu'au sommet des montagnes. Lorsque le terrain est perméable, cette culture est resserrée dans la partie du fond des vallées submergées par les crues des cours d'eau. »

L'exemple le plus frappant qu'on puisse citer de la loi précédente est fourni par le pays de Bray, où des terrains en friches couverts de bruyères qu'on considérait comme improductifs sont aujourd'hui convertis en excellentes prairies ; elles couvrent près de moitié du territoire, tout le long de la vallée de la Béthune.

L'ensemble du Limousin montre encore le parti qu'on peut tirer d'un sol léger provenant de la désagrégation très lente du granite et reposant sur une roche dure et imperméable, l'épaisseur de la couche arable est très faible, et quand on veut cultiver la betterave on n'y réussit qu'en la semant sur des billons où elle trouve une épaisseur un peu plus grande ; le sol est assez accidenté pour que l'irrigation y soit possible, mais elle a lieu par déversement ; les eaux n'apportant aucun engrais, les prairies doivent être fumées ; elles n'ont reçu les fumures abondantes qu'au moment où l'établissement des chemins de fer a permis l'arrivée facile dans la Creuse, la Corrèze et la Haute-Vienne des chaux du Berry ; grâce à cet amendement on a pu cultiver le trèfle, assurer aux animaux une nourriture plus copieuse, avoir assez d'engrais pour fumer les prai-

(1) La Seine, *Études hydrologiques*.

ries, dès lors elles ont pu être fauchées et la race bovine du Limousin bien alimentée a montré des qualités exceptionnelles; elle a été recherchée, et la vente des animaux est devenue assez avantageuse pour que l'aisance ait remplacé la misère que Turgot, intendant du Limousin à la fin du siècle dernier, regrettait si amèrement de ne pouvoir soulager (1).

Une terre légère à sous-sol imperméable dans les régions septentrionales est donc essentiellement destinée à la prairie; mais dans le midi elle peut encore porter d'autres cultures.

La création du beau vignoble d'Aigues-Mortes a eu lieu dans des sables, qui mettent la vigne à l'abri des atteintes du phylloxera, grâce à l'existence d'un sous-sol imperméable sur lequel court une nappe d'eau douce. Barral a trouvé à la fin de juin : 1 p. 100 d'eau dans les premiers 20 centimètres de profondeur, de 6 à 12 suivant les localités à 1 mètre de profondeur et de 18 à 21 p. 100 entre 2 mètres et $2^m,25$ (2). Cette grande quantité d'eau maintient la vigne luxuriante : si le sous-sol sur lequel l'eau douce s'écoule à la mer n'eût pas été imperméable, les sables eussent été absolument stériles.

Mes collègues de Grignon qui ont fait il y a quelques années une excursion en Hollande avec les élèves de l'École ont été très frappés de voir d'admirables cultures de tulipe, établies dans du sable pur que mouillait constamment une nappe d'eau courante.

De Lasteyrie cite un exemple curieux de fertilité obtenue en Espagne par des eaux courantes. Dans les environs de San Lucas de Baromeda un sol poudreux d'une aridité extrême a pu être fertilisé par la main de l'homme. A la surface, les dunes mamelonnées de San Lucas sont recouvertes par un sable quartzeux assez ténu pour être emporté par le vent; mais la partie inférieure est mouillée par le Guadalquivir et il suffit d'enlever la couche superficielle pour obtenir un sol fertile constamment abreuvé par des eaux vives.

Quand les terres légères à sous-sol imperméable ne présentent aucun écoulement naturel, elles sont souvent d'une stérilité absolue; telles étaient les landes de Gascogne; presque plates, garnies de dunes sur les bords de la mer, elles étaient noyées pendant tout l'hiver par les pluies qu'amenaient les vents du sud-ouest; l'eau séjour-

(1) Le Limousin, notices publiées à propos du Congrès tenu par l'Association française à Limoges en 1890.

(2) *Comptes rendus*, t. XCVI, p. 420.

nait sur le sol et les habitants avaient pris l'habitude de se jucher sur des échasses pour éviter d'être constamment dans l'eau ; pendant l'été cette eau s'évaporait lentement et alors le sable desséché devenait brûlant, le pays était malsain et presque désert. M. Chambrelent a réussi à l'assainir en y creusant une série de fossés d'écoulement qui ont dirigé les eaux, soit vers le bassin d'Arcachon, soit vers la Gironde, il a semé, dans le sol ainsi modifié, des pins maritimes dont les racines viennent buter contre la couche imperméable, l'*alios*, formé d'un sable agglutiné par une matière organique, qui s'imbibe d'eau pendant l'hiver et en garde une provision suffisante pour fournir aux besoins restreints de ces arbres dont l'évaporation est faible. Ces pins sont gemmés, ils fournissent de la résine et sont en outre exploités comme bois d'œuvre; on les recherche pour le boisement des mines et l'établissement des lignes télégraphiques.

Ces exemples suffisent à montrer que les terres légères qui reposent sur un sous-sol imperméable deviennent fertiles toutes les fois que ce sous-sol est assez incliné pour favoriser le mouvement des eaux qui coulent à sa surface, ou même quand on réussit par des tranchées et des fossés à évacuer ces eaux surabondantes.

Terres fortes et terrains perméables. — En général ces terres sont d'excellentes qualités par elles-mêmes, elles retiennent bien l'eau et laissent cependant écouler l'excès dans le sous-sol sur lequel elles reposent. Les plateaux drainés par la craie blanche de la Picardie qui comprennent 2,858 kilomètres carrés, ceux du Vexin Normand 1,196 kilomètres carrés, ceux de la Beauce entre Chartres et Rouen 7,710 kilomètres carrés, le pays de Caux enfin 2,020, comptent parmi les contrées les plus fertiles de la France.

D'une façon générale, on peut dire que toutes les terres fortes qui donnent de très bonnes récoltes sans être drainées appartiennent à cette catégorie (1).

Ces terres doivent être travaillées avec soin, et en temps utile ; quand elles sont humides, elles se lissent par le travail de la charrue et forment de grosses masses difficiles ensuite à briser par la herse. Il est bon de les ameublir jusqu'au sous-sol pour que l'égouttage en soit facile.

Terres fortes et sous-sols imperméables. — Ces terres exigent impérieusement l'assainissement par le drainage, il est *néces-*

(1) Voyez pour toutes ces questions : Risler, *Géologie agricole.*

saire ; quand il a été pratiqué ces terres se transforment comme par enchantement et donnent des récoltes de blé considérables.

Quelques-unes des terres de feu M. Porion, situées à Blaringhem, à la limite du département du Nord, au voisinage immédiat du Pas-de-Calais, étaient affermées; après quelques années le fermier se déclare incapable de tirer parti de ces sols argileux, compacts, reposant sur un sous-sol imperméable et résilie son bail ; M. Porion reprend sa terre, la draine avec beaucoup de soin, y introduit des escarbilles et des cendres d'usine, puis du fumier, et j'y ai vu, en 1885, des récoltes de blé atteignant 43 quintaux de grain à l'hectare, et 45,36 en 1886 ; en 1888 et en 1889 les rendements ont été plus faibles, ils sont restés compris entre 30 et 40 quintaux métriques.

Il est à remarquer que des terres de cette nature n'acquièrent toute leur valeur qu'après un travail de plusieurs années; un cultivateur anglais, M. Prout, qui a publié, il y a quelques années, un ouvrage intéressant sur la *culture des terres fortes* (1), insiste à juste raison sur l'importance de ces travaux d'ameublissement. Ayant acquis un domaine peu distant de Londres que ses prédécesseurs n'avaient pu réussir à mettre en culture régulière, il a commencé son exploitation non seulement par un drainage très soigné, par la régularisation des fossés d'écoulement, mais en outre par l'emploi de la charrue à vapeur pour remuer et ameublir le sol; presque toutes les pièces ont été labourées deux fois avant tout ensemencement.

M. Prout, qui ne cultive guère que des céréales, n'emploie que des engrais commerciaux. Leur action sur les sols varie beaucoup d'une contrée à une autre, tandis que M. Prout les utilise sans inconvénient, que MM. Lawes et Gilbert ont maintenu la culture continue du blé à Rothamsted depuis quarante ans, en la soutenant exclusivement avec des produits chimiques et n'ont pas vu leur sol acquérir des propriétés fâcheuses, M. Michel Perret dans l'Isère (2) a dû renoncer à ce mode de culture sans fumier, ses récoltes étant tombées à 8 hectolitres de blé au lieu de se maintenir au delà de 30 qu'il obtient lorsqu'il emploie le fumier; la fertilité n'a pu être rétablie sur ces sols qu'à la condition d'y introduire de l'humus provenant des prairies tourbeuses.

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 80. M. Laverrière, bibliothécaire de la Société nationale d'agriculture, a donné une traduction de ce mémoire.

(2) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 249.

§ 113. — Travaux exécutés par le cultivateur pour ameublir le sol.

L'étude que nous venons de faire des propriétés physiques des terres va nous permettre de bien comprendre comment doivent être conduits les divers travaux de culture.

En général, immédiatement après une culture de céréales on donne un léger labour de déchaumage, on ouvre déjà le sol, de façon à lui permettre de s'imbiber des eaux qu'amène l'automne, sur un chaume durci par la sécheresse, l'eau coulerait sans pénétrer, et la terre serait trop dure pour qu'un labour profond ne fût pas très coûteux.

On procède ensuite au grand labour ; il a essentiellement pour but de diviser la terre et de la retourner pour l'exposer à l'action de l'air et pour faciliter la pénétration de l'eau de pluie, c'est pendant cette première partie de l'automne que le sol doit faire sa provision d'eau qui s'infiltrera dans la masse d'autant plus aisément qu'elle sera plus divisée et plus ameublie.

On démontre aisément l'importance de cette division des particules du sol, pour favoriser les mouvements de l'eau, en préparant, au moyen de deux tamis à mailles de finesse variable, trois lots de sable, puis en les disposant dans des tubes de verre fermés par une toile bien ficelée sur les rebords; si on dispose ces tubes dans l'eau, de façon qu'ils y plongent de 1 ou 2 centimètres, on voit l'eau monter rapidement dans le tube à grains fins, s'élever moins vite dans le sable à grains déjà plus grossiers et rester fort en retard dans celui qui renferme de petits cailloux.

La hauteur de l'eau suspendue dans ces tubes mesure en quelque sorte la force capillaire qui l'élève et la retient et fait comprendre qu'un sol ameubli se chargera d'une quantité d'humidité plus forte qu'une terre restée en grosses mottes.

Il faut donc que le sol soit en quelque sorte pulvérisé, aussi au labour fait-on succéder le hersage qui a pour but de briser les mottes qu'a fait le versoir de la charrue.

Quand le blé suit les betteraves, ces travaux sont souvent difficiles à exécuter dans les terres fortes où tous les jours ne sont pas convenables pour les labours ; le grand avantage que présentent les terres drainées est d'être bien plus abordables que celles qui ne sont pas égouttées et de pouvoir être travaillées quand les autres ne seraient pas remuées sans de grands préjudices.

Avec la charrue et la herse on réussit donc à pulvériser la terre, quand ce travail est bien exécuté, que la terre est ameublie, les cultivateurs disent que cette terre bien préparée est fine comme de la cendre.

Pendant l'hiver les terres doivent s'imbiber d'eau, il est bon qu'elles soient poreuses, mais au printemps les sécheresses commencent à être à craindre, il faut faire remonter l'eau à la portée des racines, il faut en outre que celles-ci trouvent un sol bien tassé; si la terre est *creuse*, comme disent les cultivateurs, les racines ne sont plus au contact immédiat du sol non seulement elles ont chance de se dessécher, mais en outre, les phénomènes capillaires qui déterminent le passage de l'eau du sol à la racine cessent de se produire; pour éviter ces inconvénients, pour favoriser la montée de l'eau, pour que la racine se moule dans le sol en s'y frayant un passage, on procède au roulage qui tasse le sol, et le rend continu. En effet, pour que la diffusion de l'eau et des matières dissoutes se produise, il faut absolument que la terre ne soit pas fendillée, quand des vides se produisent le passage de l'eau est absolument arrêté; c'est ce qu'on observe très souvent dans les laboratoires de chimie agricole; si on place de la terre dans un tube, ainsi que nous l'avons indiqué à diverses reprises dans ce chapitre, pour suivre l'ascension de l'eau dans la masse, il arrive que la colonne de terre se divise et on voit que toute la partie située au-dessus de la coupure reste sèche, tandis que celle qui est au-dessous est humide.

La capillarité ne s'exerce donc que dans une masse continue, et s'il importe que cette continuité existe au printemps au moment des semailles; en revanche, en été le desséchement des couches superficielles est à craindre; si la terre est bien tassée, l'eau remontera par capillarité jusqu'à la surface et la terre se desséchera, pour éviter cette dessiccation on détruit la continuité par les binages. Pour montrer que les liquides cheminent plus difficilement dans la terre ameublie obtenue par le binage que dans un sol compacte, on dispose, dans les cours de chimie agricole, l'ingénieuse expérience suivante due à M. Schlœsing. On dresse un gros morceau de sucre raffiné, dans une soucoupe, on le couvre d'une couche de sucre en poudre fine, puis on verse dans la soucoupe un liquide coloré, on voit le liquide s'élever rapidement dans le pain de sucre qui se teinte uniformément, tandis que la poudre reste blanche. pendant assez longtemps, le liquide ne pouvant pas s'élever dans

la masse discontinue qu'elle présente; la capillarité a été détruite et le bloc humide est protégé par une couche sèche; on conçoit donc qu'une terre compacte tassée par les pluies de printemps se dessèche, la capillarité faisant remonter à la surface l'eau qui s'y évapore rapidement, mais que cette dessiccation soit plus lente quand la surface étant ameublie, les eaux souterraines cessent de s'élever à la surface et de s'y évaporer; de là, l'utilité des binages d'été.

Tous ces travaux ne sont efficaces que lorsqu'ils sont exécutés en temps utile; chaque cultivateur apprend, par une expérience qui ne s'acquiert que lentement, comment son sol doit être traité, et en voyant la réussite de certains praticiens, les échecs des autres dus à de bonnes ou de mauvaises préparations du sol, on reconnaît la justesse de l'éloge que font d'un cultivateur habile ses confrères, en disant : « C'est un homme qui connaît bien sa terre. »

CHAPITRE III

ANALYSE CHIMIQUE DE LA TERRE ARABLE.

L'analyse chimique de la terre arable comporte les dosages suivants :

Azote à l'état	d'acide azotique. d'ammoniaque. de matière organique.
Carbone des matières organiques.	
Acide phosphorique	total. assimilable.
Potasse	totale. assimilable.
Chlore à l'état de chlorure.	

Nous allons passer en revue les divers procédés à employer pour exécuter ces différents dosages, nous avons déjà décrit dans le chapitre précédent le dosage de la chaux et nous n'y reviendrons pas ici.

Nous avons vu dans le chapitre précédent combien la prise d'échantillon sur laquelle porte l'analyse doit être faite avec soin, nous avons indiqué comment il faut y procéder et nous emploierons pour l'analyse chimique l'échantillon de terre fine préparée pour l'analyse physique.

§ 114. — Dosage de l'azote.

Le dosage de l'azote total s'exécute par l'une des méthodes indiquées page 26. On doit employer de 10 à 20 grammes de terre fine, et se servir, pour

recueillir l'ammoniaque, d'une liqueur d'acide sulfurique deux fois plus étendue que la liqueur normale, et correspondant pour 10 centimètres cubes à $0^{gr},070$ d'azote.

En général, cet acide sulfurique est, après l'opération, quand on emploie la chaux sodée, très coloré par la dissolution des carbures d'hydrogène qui ont distillé et le dosage devient difficile, le changement de teinte du tournesol produit par la chaux étant masqué par la couleur même du liquide.

Si cet accident se produit on verse l'acide sulfurique dans un ballon, on y ajoute de la potasse en excès et on distille dans le serpentin ascendant de M. Schlœsing (page 30), l'opération est terminée quand le tiers du liquide du ballon a distillé, on procède au dosage par la dissolution alcaline ou mieux l'eau de chaux comme il a été dit page 29.

§ 115. — Dosage de l'acide nitrique.

Les nitrates prennent constamment naissance dans une terre fertile, mais ils sont très solubles dans l'eau, facilement entraînés dans le sous-sol, de telle sorte que leur détermination ne donnera pas des indications bien utiles sur la fertilité de la terre considérée, à moins que les recherches ne soient répétées à de nombreuses reprises; en effet, si l'échantillon de terre a été recueilli après des pluies prolongées, l'analyse pourra n'accuser aucune trace de nitrate dans un sol qui en aurait, au contraire, contenu des quantités notables si l'échantillon avait été pris après une sécheresse.

L'analyse des eaux de drainage naturelles ou artificielles donne seule des renseignements précis sur la formation des nitrates dans une terre dont on veut connaître la fertilité.

Toutefois, si on veut savoir la quantité de nitrates qu'une terre renferme, on opère comme suit :

Dissolution des nitrates. — On pèse 100 grammes de terre fine étudiée, on les introduit dans une fiole d'un litre, on mesure d'autre part un litre d'eau distillée dans une grande éprouvette divisée en centimètres cubes; on verse 200 ou 300 centimètres cubes sur la terre, on agite vivement, puis on laisse reposer et on complète le volume à un litre, on lit sur l'éprouvette le nombre de centimètres cubes restant; les nitrates étant très mal retenus par la terre arable se dissolvent dans la quantité d'eau ajoutée, dont le volume sera égal à un litre, diminué du nombre de centimètres cubes restant dans l'éprouvette.

Après deux ou trois heures, on verse 500 centimètres cubes dans une capsule de porcelaine et on les évapore doucement à feu nu, jusqu'à les réduire à une dizaine de centimètres cubes; on y ajoute quelques gouttes d'acide acétique pour détruire les carbonates et on les conserve pour le dosage.

Celui-ci s'exécute en réduisant l'acide azotique des nitrates en bioxyde d'azote, par l'action simultanée de l'acide chlorhydrique et du protochlorure de fer représentée par la réaction suivante :

$$6(FeCl^2) + 8HCl + 2(AzO^3M) = 3(Fe^2Cl^6) + 2MCl + 4H^2O + 2AzO.$$

On ajuste à un ballon de 150 centimètres cubes un bouchon de caoutchouc

percé de deux orifices, l'un reçoit un tube droit effilé à l'extrémité, qui descend dans le ballon A jusqu'à 3 ou 4 centimètres du fond, l'extrémité supérieure de

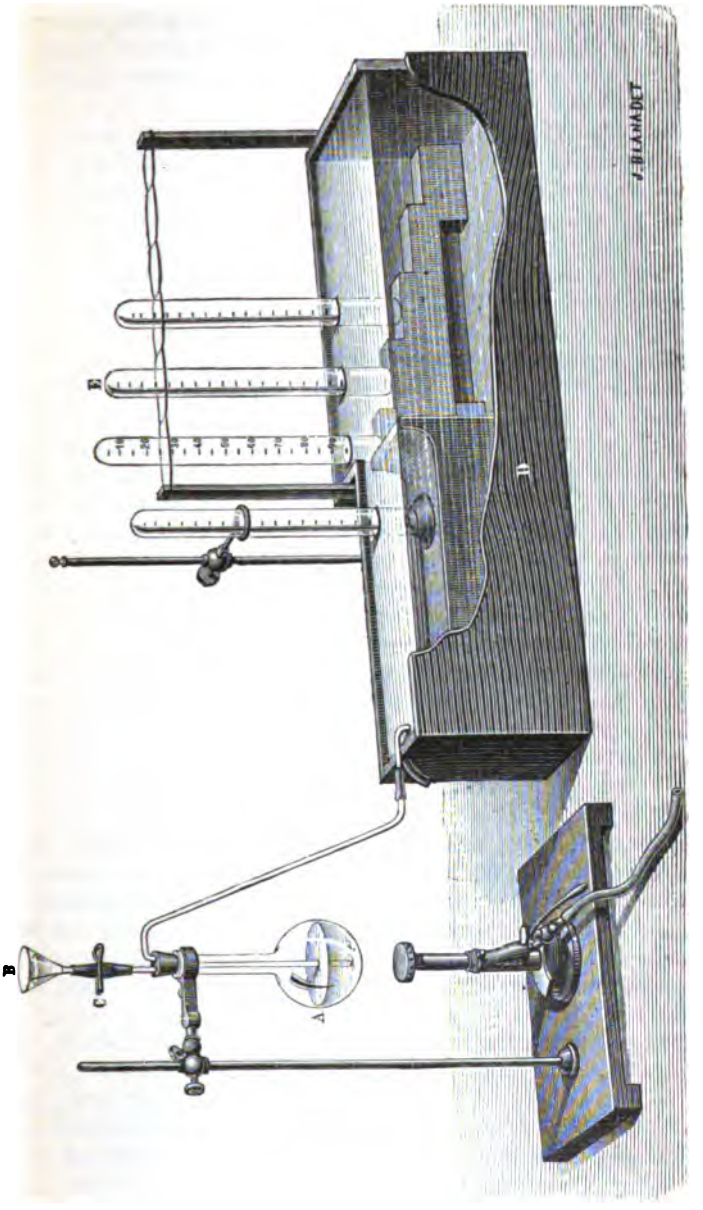


Fig. 49. — Dosage des nitrates.

ce tube reçoit un tube en caoutchouc auquel on adapte un petit entonnoir B qu'habituellement on soutient par un support. Le caoutchouc porte une pince

de Mohr C qui permet ou interdit le passage du liquide contenu dans l'entonnoir.

L'autre orifice du bouchon porte un tube à gaz recourbé une première fois à angle droit, une seconde fois à angle obtus; à ce tube s'adapte un caoutchouc puis un tube courbé à angle obtus, se prolongeant ensuite horizontalement de 10 à 12 centimètres et se terminant par une légère courbure, pour être facilement introduit sous une cloche à gaz.

Le ballon étant bien assujetti par un support, on plonge le tube abducteur dans une terrine ou une cuve pouvant contenir plusieurs litres d'eau, et facile à vider et on introduit dans le ballon la dissolution de protochlorure de fer préparée à l'avance en dissolvant à l'ébullition des pointes de fer dans l'acide chlorhydrique dilué. Cette dissolution est conservée à l'abri du contact de l'air, en l'introduisant dans un flacon qu'on ferme hermétiquement avec un bouchon et qu'on immerge par le goulot dans un vase rempli d'eau.

Le ballon reçoit environ 40 centimètres cubes de protochlorure de fer, puis 40 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, on met sous le ballon un bec de gaz muni d'une couronne et l'on chauffe de manière à produire une ébullition régulière; l'air est expulsé et bientôt le tube abducteur ne laisse plus dégager que de la vapeur d'eau et de l'acide chlorhydrique; on place au-dessus du tube abducteur une éprouvette à gaz de 100 centimètres cubes environ, exactement remplie d'eau, on s'assure que le ballon n'y envoie plus d'air, puis en continuant à chauffer, on verse dans l'entonnoir les 10 ou 12 centimètres cubes provenant de l'évaporation du liquide en une ou plusieurs fois, on desserre doucement la pince et on laisse couler lentement le liquide de l'entonnoir en évitant que la moindre trace d'air puisse pénétrer dans le ballon.

Cette introduction est la partie délicate de l'opération; en effet, si on laisse couler une quantité de liquide un peu forte, on refroidit la dissolution contenue dans le ballon, elle redevient capable de dissoudre l'acide chlorhydrique gazeux qui, avec la vapeur d'eau, forme l'atmosphère du ballon, la pression diminue et une absorption est à craindre; si on voit que l'eau pénètre dans le tube abducteur qui plonge dans l'eau de la cuve, il faut écraser entre les doigts le caoutchouc qui relie les deux parties du tube, bientôt on sent que la pression se rétablit dans le ballon et l'opération continue; quand toute la dissolution nitrique a été introduite dans le ballon, on lave la capsule puis l'entonnoir à deux ou trois reprises avec de l'acide chlorhydrique pur et on continue à chauffer tant qu'on voit des bulles de gaz se dégager sous l'éprouvette; quand ce dégagement a cessé, on enlève le tube de la cuve, et on cesse de chauffer.

Le bioxyde d'azote recueilli dans l'éprouvette doit être mesuré; on le fait passer dans un tube gradué, on y adapte un bouchon muni d'un petit tube, on plonge le tube dans l'eau pour qu'il en prenne la température, on ferme avec le doigt le petit tube, on met le niveau intérieur sur le même plan que le niveau de la cuve à eau, puis saisissant le tube avec un bouchon on lit la division à laquelle affleure le liquide.

On lit successivement le volume de gaz, sa température, et le baromètre donnant la pression, on a tous les éléments nécessaires pour calculer le poids du bioxyde d'azote, si on est certain que ce gaz est pur. Pour s'assurer de cette

pureté, on introduit dans le tube un petit fragment de sulfate de fer, que l'on agite dans le tube, on replonge le tube dans l'eau, qui peu à peu remplace le gaz absorbé, on cesse d'agiter quand l'absorption ne se produit plus; il reste habituellement dans le tube un demi-centimètre cube de gaz, qu'on déduit du volume lu avant l'absorption.

L'expression connue :

$$P = V\frac{(H - f).0^{gr},0013 \times 1.039}{760(1 + \alpha t)}$$

donne le poids du gaz (1).

En opérant comme il vient d'être dit, on trouve un nombre un peu au-dessous de la réalité ; en effet, pendant qu'on agite le liquide avec le sulfate de fer, il se produit dans le tube un vide qui détermine le dégagement des gaz tenus en dissolution dans l'eau de la cuve, de telle sorte que les quelques dixièmes de centimètre cube retranchés ne préexistaient qu'en partie, dans le gaz primitif.

On évite, au reste, les calculs en procédant par comparaison avec un liquide renfermant un poids connu de nitrate de soude ou de salpêtre; on pèse par exemple 66 grammes de nitrate de soude pur et sec, on le dissout dans de l'eau de façon à former un litre, 10 centimètres cubes de ce liquide renferment $0^{gr},66$ de nitrate de soude qui donnent $0^{gr},240$ de bioxyde d'azote ou 184 centimètres cubes de gaz, à 0 et à 760, c'est-à-dire environ 200 centimètres cubes dans les conditions ordinaires de l'expérience. Si on prend au lieu de la liqueur précédente, qu'on conserve dans les laboratoires pour établir la comparaison avec les gaz provenant de l'analyse des engrais, beaucoup plus riches en nitrates que les terres, une liqueur dix fois plus étendue, on aura environ 20 centimètres cubes de gaz et la quantité des nitrates provenant de la terre sera établie par la proportion $\frac{a}{b} = \frac{0^{gr},066}{x}$, a étant la quantité de bioxyde d'azote obtenu en introduisant dans l'appareil 10 centimètres cubes de la liqueur contenant $6^{gr},6$ par litre, b le volume de bioxyde d'azote obtenu des nitrates du sol, et x le poids des nitrates calculé en nitrate de soude.

Les deux méthodes que nous venons d'indiquer laissent quelque indécision dans les résultats parce que les gaz sont recueillis et mesurés sur l'eau; elles sont généralement très suffisantes pour les recherches de chimie agricole; toutefois si on voulait opérer rigoureusement, il faudrait recueillir les gaz sur le mercure et suivre exactement le procédé décrit par MM. Berthelot et André (*Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, tome VIII, p. 4, 1886).

(1) P = poids du bioxyde d'azote.
V, volume lu diminué du résidu non absorbé.
H, pression barométrique.
f, force élastique de la vapeur d'eau correspondant à la température t.
$0^{gr},0013$, poids d'un centimètre cube d'air.
1,039, densité du bioxyde d'azote.
760, pression atmosphérique normale.
α, coefficient de dilatation des gaz (0,00367).
t, température de l'eau de la cuve.

§ 116. — Dosage de l'ammoniaque.

Le dosage de l'ammoniaque préexistante dans la terre arable présente quelques difficultés; la méthode proposée par Boussingault et généralement adoptée ne décompose pas complètement les sels ammoniacaux contenus dans le sol, notamment le phosphate ammoniaco-magnésien; une méthode proposée plus récemment et qui consiste à laver la terre à froid avec de l'acide chlorhydrique étendu de quatre volumes d'eau, puis à décomposer les sels ammoniacaux par la magnésie, donne au contraire des nombres trop élevés, l'acide chlorhydrique déterminant même à froid la formation d'ammoniaque aux dépens des composés amidés que la terre renferme (1).

Le procédé que nous allons décrire est donc seulement approximatif.

On introduit 200 ou 300 grammes de terre dans un ballon de deux litres, on y ajoute 500 centimètres cubes d'eau bien exempte d'ammoniaque (2), 1 gramme de magnésie, on adapte à un serpentin ascendant de M. Schlœsing et on recueille le liquide qui distille dans 10 centimètres cubes d'acide sulfurique dilué (page 30).

La figure 13 montre que le tube qui plonge dans la fiole contenant de l'acide sulfurique présente un renflement en E, cela est nécessaire pour éviter les absorptions.

On chauffe au bain de sable après avoir eu soin de bien agiter la terre dans le ballon, de façon que tout le fond soit mouillé, on distille de façon à recueillir une centaine de centimètres cubes qui contiennent toute l'ammoniaque.

Le titrage par les liqueurs alcalines est difficile à bien faire dans l'acide sulfurique qui a reçu l'ammoniaque, l'eau est généralement chargée d'acide carbonique qui empêche de voir nettement le changement de teinte; il est avantageux de faire bouillir le liquide pour chasser cet acide carbonique et de doser à l'aide d'une solution étendue d'eau de chaux.

La quantité d'ammoniaque trouvée dans la terre arable indique seulement celle qui y existait au moment de la prise d'échantillon, cette quantité essentiellement variable, car les matières azotées de la terre arable émettent constamment de l'ammoniaque et constamment celle-ci est métamorphosée en nitrates, de telle sorte qu'un second dosage, exécuté sur la même terre, à quelques jours d'intervalle, pourra très bien ne pas fournir un nombre semblable à celui qu'avait donné un premier essai.

§ 117. — Dosage du carbone des matières organiques.

Ce dosage peut être exécuté par voie sèche ou par voie humide.

Voie sèche. — La terre mélangée à de l'oxyde de cuivre et à de l'acide tungstique est logée dans une nacelle de platine; celle-ci est elle-même introduite dans un long tube de fer qui renferme à sa partie antérieure une longue colonne d'oxyde de cuivre; on laisse sortir de la grille environ 10 à

(1) Berthelot et André, *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XI, p. 289, 1887.

(2) L'eau distillée renferme souvent des traces d'ammoniaque, en soumettant à la distillation quelques litres et en ne recueillant qu'après qu'un litre a déjà distillé on peut avoir de l'eau exempte d'ammoniaque. On s'en assure au reste avec le réactif de Nœsler.

15 centimètres du tube de façon que le bouchon qui le ferme ne s'échauffe pas; à ce bouchon s'adapte un tube à acide sulfurique, des boules de Liebig à potasse et un dernier tube renfermant de la chaux sodée; on dirige au travers du tube un courant d'air parfaitement desséché par son passage dans de longs tubes renfermant les uns de la potasse caustique, les autres de la ponce sulfurique (Voy. p. 25).

On chauffe et on recueille à la fois l'acide carbonique des carbonates et celui qui provient de la combustion de la matière organique; pour trouver celui-ci, il faut donc dans une autre opération doser l'acide carbonique des carbonates.

On y réussit soit en appréciant la perte de poids d'un petit appareil d'où on expulse l'acide carbonique par les acides et qui est décrit page 138; soit en pesant directement cet acide carbonique. Dans ce procédé qui paraît préférable, la terre est placée dans un ballon auquel on adapte un bouchon percé de trois orifices; l'un, muni d'un robinet de verre, communique avec les tubes destinés à purifier un courant d'air, le second est muni d'un caoutchouc susceptible d'être fermé par une pince de Mohr et supportant un entonnoir, le troisième orifice du bouchon porte un tube abducteur qui communique d'abord avec un tube à ponce sulfurique, puis avec un tube à sulfate de cuivre sec, qui retiennent : l'un la vapeur d'eau, l'autre l'acide chlorhydrique : cette partie de l'appareil se termine par les boules de Liebig ou de Maquenne, munies de leur tube à potasse, une grande éprouvette à ponce potassée et enfin un vase à écoulement pour déterminer le passage du courant d'air au travers de l'appareil.

Quand tout est disposé, on fait couler par l'entonnoir sur la terre de l'acide chlorhydrique dilué à petites doses, de façon que le dégagement d'acide carbonique ne soit pas trop rapide, on juge de son activité par le passage des bulles au travers des boules de Liebig; quand toute la terre est mouillée d'acide, on agite à diverses reprises, et lorsque tout dégagement d'acide carbonique a cessé, on ouvre le robinet du tube qui communique avec les appareils desséchants, on fait couler l'eau de l'aspirateur et on dirige ainsi, par un lent courant d'air, tout l'acide carbonique du ballon dans les boules de Liebig.

Voie humide. — L'appareil que nous venons de décrire peut servir à déterminer le carbone des matières organiques; après avoir chassé l'acide carbonique des carbonates, pesé les boules de Liebig, on renouvelle la potasse qu'elle renferme, on les fixe à l'appareil, puis on introduit par l'entonnoir un mélange d'acide chromique et d'acide sulfurique; il détermine une vive effervescence due au dégagement d'acide carbonique produit par la combustion du carbone; quand cette effervescence est calmée, on fait passer le courant d'air et on recueille l'acide carbonique dans les boules de Liebig comme précédemment.

Au lieu de peser l'acide carbonique, on peut en apprécier la quantité à l'aide de liqueurs titrées d'après la méthode de M. Houzeau (1).

L'analyse de l'acide humique montre qu'il renferme environ la moitié de son poids de carbone; par conséquent en doublant le poids de carbone des

(1) *Ann. agron.*, t. I, p. 201.

matières organiques trouvé par une des méthodes précédentes, on aura approximativement la quantité d'humus que le sol renferme.

M. Raulin a proposé récemment un procédé de dosage reposant sur l'emploi du permanganate agissant sur l'humus de la terre arable dissous dans un alcali; la méthode paraît convenir pour les terres qui renferment de l'humus présentant sa composition habituelle; elle s'est trouvée en défaut, quand on a voulu l'appliquer à une terre dont l'humus présente une très grande pauvreté en carbone (1).

§ 118. — Dosage de l'acide phosphorique et de la potasse.

Les phosphates contenus dans le sol sont tantôt assez facilement attaquables par les liquides qui circulent dans le sol ou qui imprègnent les racines des plantes, pour être directement assimilables, et tantôt absolument insolubles dans ces réactifs faibles. Cette insolubilité actuelle peut au reste disparaître avec le temps, de telle sorte qu'il est intéressant de doser l'acide phosphorique total et l'acide phosphorique actuellement assimilable.

Acide phosphorique total. — La quantité de terre à employer varie avec la richesse présumée du sol étudié; si on analyse une terre granitique pauvre, il convient d'opérer sur 20 grammes, tandis que pour une terre d'une fertilité moyenne 10 grammes suffisent; on peut même descendre jusqu'à 7 ou 8 grammes pour une terre de jardin ou pour un sol d'origine volcanique riche en acide phosphorique; si la terre est peu calcaire, si l'effervescence avec les acides est faible, l'attaque n'exige que de l'acide azotique, qui doit imprégner toute la masse, on évapore à sec pour détruire les matières organiques, on chauffe au rouge cerise, puis on reprend par de l'acide azotique étendu, on filtre et on concentre. Si la terre à analyser est très calcaire, il se forme pendant la calcination une grande quantité de silicate de chaux; par le traitement ultérieur à l'acide nitrique, ce silicate se décompose et donne de la silice gélatineuse, qui empêche la filtration; aussi, quand la terre est calcaire, convient-il de procéder à l'attaque avec de l'acide azotique mêlé d'une petite quantité d'acide sulfurique, on évapore à sec et on calcine, l'acide sulfurique forme du sulfate de chaux, qui n'est pas décomposable par l'action du feu comme le nitrate, la chaux saturée ne forme pas de silicate, par suite les acides n'occasionnent pas la production de silice en gelée et les filtrations ont lieu régulièrement.

La concentration des liqueurs provenant du lavage de la terre calcinée par l'acide azotique étendu doit être lente; en effet, il faut que l'acide phosphorique isolé, amené par la calcination à l'état d'acide métaphosphorique, repasse à l'état d'acide phosphorique tribasique, car ce n'est que sous cette forme que l'acide phosphorique est complètement précipité par le nitromolybdate d'ammoniaque. Cette transformation a lieu pendant l'évaporation des liquides qui doivent être réduits à une vingtaine de centimètres cubes.

Le nitromolybdate est un réactif très précieux, car il sépare l'acide phosphorique à l'état insoluble dans une liqueur très chargée d'acide azotique

(1) *Ann. agr.*, t. XVI, p. 558.

libre; or dans ces conditions le phosphomolybdate est le seul corps qui se précipite, toutes les autres substances restent en dissolution. Par la concentration à l'ébullition le liquide auquel on ajoute le nitromolybdate donne un beau précipité jaune serin qui se rassemble aisément; quand cette précipitation a eu lieu, il est nécessaire de réajouter dans le liquide clair une nouvelle dose de nitromolybdate pour s'assurer que tout l'acide phosphorique est bien précipité, ce dont on n'est certain qu'autant que le réactif ne détermine plus à l'ébullition la formation d'un nouveau précipité.

Le phosphomolybdate d'ammoniaque n'a pas une composition assez constante pour qu'en le séchant et le pesant on puisse en déduire avec certitude le poids de l'acide phosphorique; aussi convient-il, quand on a recueilli le phosphomolybdate sur un filtre, de le dissoudre dans de l'ammoniaque, ce qui est très rapide, puis de précipiter l'acide phosphorique redissous, par le chlorure de magnésium dissous dans un excès d'ammoniaque et de chlorhydrate d'ammoniaque; on obtient ainsi du phosphate ammoniaco-magnésien et on termine l'analyse comme il a été dit (p. 143).

Dosage de l'acide phosphorique assimilable. — Les acides minéraux, chlorhydrique ou azotique dissolvent tous les phosphates contenus dans la terre arable, qu'ils soient durs et compacts comme l'apatite, que l'acide phosphorique y soit combiné à la chaux, au sesquioxyde de fer ou à l'alumine; par suite, ce dosage n'indique en aucune façon si l'acide phosphorique sera assimilable ou non, si les engrais phosphatés seront efficaces ou inutiles, aussi, a-t-on essayé d'attaquer la terre arable par des réactifs moins énergiques que les acides minéraux, supposant que les phosphates qui entreront en dissolution dans ces réactifs affaiblis auront chance d'être assimilables.

On désigne habituellement sous le nom d'acide phosphorique assimilable celui qui est soluble dans l'acide acétique ou dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal; le premier est uni à la chaux ou à la magnésie, ou encore à la potasse, le second peut même être uni à de l'oxyde de fer.

On attaque les terres par l'acide acétique à l'ébullition pendant une heure ou à froid pendant vingt-quatre, on étend d'eau, on filtre, on évapore, on reprend par de l'acide azotique étendu d'eau et on termine l'analyse comme il a été dit plus haut.

Quand on fait usage du citrate d'ammoniaque ammoniacal, on opère suivant les prescriptions de M. Joulie (voy. 3e partie, *Analyse des engrais phosphatés*).

Dosage de la potasse. — Le dosage de la potasse de la terre arable est encore mal réglé; les chiffres inscrits aux tableaux des analyses varient entre des limites très étendues, non seulement avec les réactifs employés, mais aussi avec les quantités relatives de terre et de réactifs mis en présence.

Ces incertitudes ont été démontrées avec beaucoup de force par MM. Berthelot et André (1), ils distinguent le dosage de la potasse totale de celui de la potasse attaquable par divers réactifs.

Dosage de la potasse totale. — On incinère un poids de terre de 15 à 20 grammes à basse température dans une capsule de platine, et on mélange avec 4 ou 5 fois son poids de fluorhydrate d'ammoniaque pur, qu'on trouve

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XV, p. 86.

facilement dans le commerce. On chauffe doucement, sans dépasser la consistance pâteuse. On laisse refroidir, on humecte avec de l'acide sulfurique concentré et l'on chauffe de nouveau, très doucement d'abord, puis, jusqu'à absence de vapeurs acides notables; comme les vapeurs sont très abondantes et très épaisses, il est bon d'opérer en plein air, ou sous une cheminée à bon tirage. Après refroidissement on humecte fortement avec de l'acide chlorhydrique concentré, on laisse reposer, on ajoute de l'eau et on chauffe doucement. Tout doit se dissoudre après quelque temps. S'il y a un résidu il sera isolé par décantation, séché et repris par le fluorhydrate d'ammoniaque, puis par l'acide sulfurique comme il vient d'être dit; s'il reste encore un résidu on procède à une troisième attaque.

La liqueur contient toutes les bases primitivement unies à l'acide silicique et aux autres acides, que ceux-ci aient été préexistants dans la terre, produits pendant l'incinération ou ajoutés pendant les derniers traitements, comme il arrive spécialement pour les acides sulfurique et chlorhydrique.

En poursuivant l'analyse, on se débarrasse des terres et de l'oxyde de fer par l'ammoniaque, de la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, on évapore et on calcine, on élimine la magnésie par le carbonate d'ammoniaque, puis l'acide sulfurique par l'acétate de plomb, l'excès de celui-ci par l'hydrogène sulfuré; puis on évapore avec de l'acide chlorhydrique, on a ainsi les alcalis à l'état de chlorure et on précipite la potasse à l'état de chloroplatine, on pèse enfin le platine réduit par le formiate de soude ainsi qu'il a été dit page 145.

Le dosage de la potasse totale ne présente pas au reste une grande utilité, mais toutes les autres méthodes laissent dans l'esprit une grande indécision.

En effet, en lavant 100 grammes de terre, par exemple, avec des quantités d'eau de plus en plus fortes on obtient des poids de potasse variables avec l'abondance du dissolvant.

En employant un poids d'eau égal à celui de la terre MM. Berthelot et André ont obtenu pour 1 kilogramme de terre : potasse $0^{gr},0029$; avec un poids d'eau 5 fois plus grand que celui de la terre : potasse $0^{gr},030$; avec un poids d'eau 10 fois supérieur : potasse $0^{gr},067$; en continuant les lavages on a encore tiré de cette terre : $0^{gr},049$ de potasse, puis par un troisième lavage $0^{gr},027$.

Naturellement si on substitue à l'eau pure des réactifs neutres et *a fortiori* acides, la quantité de potasse dissoute croît dans une large mesure, sans donner de renseignements sur la quantité de potasse assimilable qu'il serait important de connaître.

Dans les laboratoires de chimie agricole, on considère généralement comme potasse assimilable dans un temps plus ou moins rapproché celle qui est dissoute par l'eau régale.

On place au bain-marie 10 grammes de terre avec un mélange de 10 grammes d'acide azotique et de 30 grammes d'acide chlorhydrique ajoutés avec précaution pour ne pas déterminer une effervescence trop vive ; on évapore à sec lentement, on reprend par l'eau bouillante et on filtre.

La liqueur renferme de la chaux, de l'alumine, de l'oxyde de fer, de la magnésie, les alcalis, des acides sulfurique, chlorhydrique et phosphorique. on ajoute un petit excès d'acide sulfurique et on évapore de nouveau à sec pour chasser complètement les acides chlorhydrique et azotique. La matière est dissoute dans l'eau bouillante et on y ajoute de l'eau de baryte qui préci-

pite les acides sulfurique et phosphorique, la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et la magnésie, de telle sorte qu'en filtrant on a seulement en dissolution de la baryte, de l'ammoniaque, de la potasse et de la soude; on fait passer au travers du liquide de l'acide carbonique, puis on porte à l'ébullition et on filtre le carbonate de baryte, on s'assure qu'il ne reste plus de baryte en ajoutant dans une petite portion du liquide un peu de carbonate d'ammoniaque, et on évapore dans une capsule de porcelaine; quand le liquide est déjà concentré, qu'il a perdu presque toute l'ammoniaque, on sature par de l'acide chlorhydrique, on évapore à sec et on chauffe doucement pour chasser les dernières traces de chlorhydrate d'ammoniaque, on reprend par une très petite quantité d'eau et on ajoute le chlorure de platine; on termine l'analyse comme il a été dit plus haut.

§ 119. — Considérations sur l'analyse chimique de la terre arable.

Cette analyse est bien loin d'être inutile; cependant il ne faut pas lui en demander plus qu'elle ne peut rendre actuellement; elle est exécutée aujourd'hui très régulièrement, mais quand le cultivateur se trouve en face des nombres que lui fournissent les analyses, il se trouve encore fort embarrassé pour prendre la résolution d'acquérir ou non certains engrais.

Cet embarras provient : 1° de l'indécision où l'on se trouve de l'épaisseur du sol dans lequel les racines s'étendent et vont puiser leurs aliments et 2° de l'ignorance où nous sommes de la quantité des diverses matières qui pourront devenir assimilables pendant la durée de la végétation de la plante cultivée.

Si l'échantillon analysé présente une richesse notable en acide phosphorique ou en potasse, on est conduit à n'ajouter ni engrais phosphatés, ni sels de potasse; si on les répand sur le sol cependant, on reconnaît parfois qu'ils exercent une action manifeste, et en examinant les choses de plus près, on reconnaît par exemple que la terre riche analysée repose sur un sous-sol inerte, de telle sorte que le cube de terre dans laquelle la plante s'alimente est peu considérable et que le poids total des aliments offerts aux racines est minime, d'où cette conclusion que pour arriver aux grands rendements il faut ajouter par les engrais une nouvelle dose de matières alimentaires. C'est parce que les indications fournies par le cultivateur ont été insuffisantes, que dans ce cas l'analyse se trouve en défaut.

Le dosage de l'acide phosphorique ou de la potasse sans distinction de la combinaison dans laquelle ces substances sont contenues ne donne pas non plus d'indications qui permettent de décider s'il convient d'acheter ou non des engrais minéraux, car l'acide phosphorique total peut être abondant et l'acide phosphorique assimilable en si faibles proportions, que les superphosphates soient très efficaces.

Pour que les analyses rendent de véritables services, il faudra qu'elles aient été, dans un grand nombre de cas, comparées aux rendements obtenus des champs d'expériences, additionnés ou privés de certains engrais; quand on aura accumulé pendant plusieurs années des renseignements précis, qu'on saura par exemple qu'un sol d'une épaisseur moyenne qui renferme 1 gramme d'acide phosphorique par kilo, dont $0^{gr},1$ seulement sont solubles dans l'acide acétique,

bénéficie de l'emploi des superphosphates pour telle ou telle culture, tandis que ces mêmes engrais sont sans efficacité quand ils sont appliqués sur un sol présentant la même teneur en acide phosphorique total, mais contenant $0^{gr},3$ d'acide phosphorique assimilable, on aura un renseignement qui pourra être utilisé ; mais pour que ce renseignement ait pu être obtenu, il a fallu combiner les notions acquises par l'analyse à celles qu'a fournies le sol lui-même.

La méthode d'analyse du sol par les engrais incomplets est au reste aujourd'hui très répandue, elle est excellente et donne des résultats bien plus sûrs que l'analyse chimique, telle qu'elle est pratiquée habituellement ; nous aurons occasion en parlant des engrais d'en donner des preuves nombreuses, et nous discuterons, en outre, avec détail quelques-unes de ces questions dans le chapitre suivant.

CHAPITRE IV

CONSTITUTION CHIMIQUE DES TERRES ARABLES.

Nous avons énuméré dans la première partie de cet ouvrage la nature des aliments nécessaires à la plante pour qu'elle croisse régulièrement ; nous savons qu'elle ne prospère qu'autant qu'elle trouve, à proximité de ses racines, de l'acide phosphorique, de la potasse, de la chaux, de la magnésie ; nous savons, en outre, qu'elle ne croît qu'en assimilant des matières azotées solubles, des nitrates ou des sels ammoniacaux.

Ces connaissances étant acquises, notre premier soin doit être de rechercher dans le sol ces différents principes, et de déterminer la proportion dans laquelle ils s'y trouvent : ajouter au sol comme engrais une matière qui s'y rencontre déjà en quantités suffisantes pour subvenir aux besoins des végétaux est inutile, c'est grever sans compensation les frais de production : l'engrais est essentiellement une matière complémentaire, apportant au sol ce qui y fait défaut, c'est donc la composition du sol lui-même qui règle l'emploi de l'engrais, d'où la nécessité d'établir cette composition. Les méthodes analytiques employées dans le chapitre précédent permettent d'y réussir.

Ces analyses toutefois ne nous donnent que des connaissances insuffisantes pour en déduire des règles de conduite ; en effet, l'analyse nous indique la composition du sol au moment de la prise d'échantillon, mais les matières qu'il renferme sont susceptibles de nombreuses métamorphoses, quelques-unes d'entre elles peuvent disparaître ou, au contraire, se produire pendant la durée de la végétation.

Imaginons que l'analyse d'un sol nous indique la présence d'une quantité notable de nitrates, pouvons-nous en conclure que l'acquisition du nitrate de soude sera inutile ? Non ; car une pluie continue peut entraîner dans le sous-sol ces sels éminemment solubles, et en priver la couche dans laquelle s'étendent les racines, précisément au moment où ils seraient le plus utiles. Supposons au contraire que l'analyse nous montre que les nitrates n'existent pas dans le sol examiné ; on ne pourra pas en déduire avec plus de certitude que l'emploi du nitrate de soude sera efficace ou onéreux, car pendant les mois de végétation une quantité d'acide nitrique suffisante pour assurer l'alimentation peut se produire.

Il est donc évident que la connaissance complète de la constitution chimique de la terre arable exige deux ordres de recherches différents :

1° Analyse du sol au laboratoire, distinguant, ainsi qu'il a été dit déjà, l'état dans lequel se trouvent les substances qu'il renferme pour en tirer une première notion sur leur assimilabilité ;

2° Étude des métamorphoses que subissent ces matières pendant la durée de la végétation.

Nous avons exposé dans le chapitre précédent les méthodes analytiques employées pour déterminer la composition du sol ; nous devons actuellement étudier les matières dont l'analyse nous a décelé la présence dans le sol, pour savoir comment elles sont actuellement utilisables par les plantes, ou le deviennent pendant les mois de végétation active.

Ces études comportent donc des travaux au laboratoire ; complétées par des cultures expérimentales exécutées sur un sol déjà analysé, elles fournissent des renseignements extrêmement précieux, surtout lorsqu'on y joint l'analyse des eaux de drainage. Nous donnerons dans cet ouvrage de nombreux exemples de ce mode de recherches.

MATIÈRE ORGANIQUE DE LA TERRE ARABLE.

§ 120. — Azote et carbone des matières organiques de diverses terres.

Nous avons indiqué, dans le chapitre relatif à la formation de la terre arable, comment les débris des végétations antérieures mo-

difiés par les agents atmosphériques et par les microorganismes constituent l'humus.

Nous donnons dans les tableaux suivants la teneur en carbone et en azote des matières organiques, d'abord de terres régulièrement cultivées, ensuite de terres de prairie, nous y avons ajouté le rapport $\frac{C}{Az}$ du carbone à l'azote.

Teneur en carbone et en azote de diverses terres.

DÉSIGNATION DES TERRES.	CARBONE par KILO.	AZOTE par KILO.	$\frac{C}{Az}$.	ANALYSTES.
Terres arables.				
	gr.	gr.		
Terreau des maraîchers.....	99.4	10.50	9.4	Boussingault.
—	66.4	5.28	12.2	Id.
Terre du Liebfrauenberg	24.3	2.59	9.3	Id.
— de Bischwiller	28.7	2.95	9.7	Id.
— de Bechelbronn.....	11.6	1.39	8.0	Id.
Champ d'expériences de Grignon régulièrement fumé, parcelle 49.....	15.2	2.00	7.6	Dehérain.
Champ d'expériences de Grignon, régulièrement fumé, parcelle 32.....	16.6	2.00	8.3	Id.
Champ d'expériences de Grignon, parcelle 37 (toujours sans engrais).....	7.30	1.48	4.9	Id.
Champ d'expériences de Grignon, parcelle 21, toujours sans engrais	7.30	1.50	4.8	Id.
Pièce des 26 arpents (Grignon).....	16.1	2.04	7.8	Id.
— —	15.3	2.02	7.5	Id.
Terre d'Aigueperse (Puy-de-Dôme)....	54.0	5.20	45.0	Truchot.
— de Saint-Bonnet (Puy-de-Dôme).	18.0	1.90	9.4	Id.
— d'Alagnat (Puy-de-Dôme)	6.0	0.46	13.0	Id.
— de Saint-Mandé (Puy-de-Dôme).	27.0	1.26	21.4	Id.
— — —	5.2	0.46	11.3	Id.
Terres de prairie.				
Herbage d'Argentan (Orne).....	40.9	5.13	7.9	Boussingault.
Prairie temporaire (Grignon).....	12.46	1.81	6.8	Dehérain.
Pré verger (Clermont, Puy-de-Dôme)..	49.20	4.52	10.8	Truchot.
— Romagnat.....	35.0	4.20	8.3	Id.
Besse. — Volcanique.....	118.8	9.40	20.0	Id.
—	129.0	7.60	16.9	Id.
—	110.40	7.08	15.5	Id.
Montagne du Puy-de-Dôme.....	100.50	7.32	13.7	Id.

En examinant les tableaux précédents on voit aisément que les terres arables renferment une quantité notable de matières organiques azotées, mais la divergence des nombres qui représentent

le rapport $\frac{C}{Az}$ montre que ces matières varient beaucoup de composition d'une terre à une autre.

Les terres très riches en matières organiques, comme celles de la Limagne d'Auvergne, ou le terreau des maraîchers, sont d'une couleur noire très prononcée, tandis que les bonnes terres de Grignon, où la matière organique est moins abondante, présentent une teinte jaune, due à la suroxydation de l'oxyde de fer qu'elles contiennent.

Le rapport du carbone à l'azote varie non seulement d'une terre à une autre, mais aussi dans le même sol, suivant le mode de culture qui y a été suivi ; on a vu que ce rapport, égal à 8,9 et 7,8, 7,6, 7,5 pour des terres de Grignon en bon état de fumure, tombe à 4,3 dans un sol resté longtemps sans engrais; montrant que dans ces conditions le carbone disparaît plus vite que l'azote.

Le rapport du carbone à l'azote est beaucoup plus élevé à Rothamsted, où le sol est plus argileux, qu'à Grignon; M. Warington a trouvé le rapport 10,4 pour la terre d'une parcelle qui n'a reçu pendant de longues années que des sels ammoniacaux ; pour une autre dans les mêmes conditions 10,6, mais le rapport monte à 11,5 quand on distribue du fumier et à 13 pour le sol d'une prairie permanente, tandis que dans une parcelle du champ d'expériences de Grignon restée sans engrais pendant dix ans, mais maintenue en prairie, le rapport est de 6,8 seulement.

Origine de la matière ulmique. — Quand on examine le liquide noir qui s'écoule d'un tas de fumier bien préparé, on lui trouve une réaction alcaline des plus prononcées ; si on traite ce liquide par un acide, il se produit une violente effervescence d'acide carbonique. Quand elle est calmée, on voit qu'il s'est fait un abondant précipité brun foncé colloïdal et ressemblant beaucoup à la matière ulmique de la terre arable ; or ce précipité nous connaissons son origine, il provient de la déshydratation de la vasculose de la paille. (Voyez page 241 et plus bas, la fabrication du fumier.)

La vasculose est commune dans les végétaux, elle est plus stable que les autres principes qu'ils renferment, et la matière ulmique paraît provenir surtout de la transformation de la vasculose. Cette matière colloïdale retient énergiquement les matières azotées; quand on fait un extrait de paille par les alcalis, on obtient une dissolution brune, donnant avec les acides un précipité floconneux renfermant toujours les matières azotées de la paille.

Ces substances azotées sont-elles unies à la matière carbonée, ou bien sont-ce les manipulations mêmes auxquelles nous soumettons le sol qui déterminent cette union? Nous ne saurions nous décider pour une hypothèse ou une autre.

Quoi qu'il en soit, la matière ulmique tire partiellement son origine de la vasculose, qui paraît résister infiniment mieux que les autres principes à l'action des organismes en activité dans tous les sols, et qui, suivant Darwin et M. Kostytcheff, exerce sur la formation de l'humus une action si décisive.

La matière azotée de la terre arable se comporte comme une amide. — On sait que parmi les dérivés de l'ammoniaque se trouve la classe des amides caractérisée par la propriété de donner naissance à des sels ammoniacaux par simple fixation d'eau. Les matières albuminoïdes appartiennent à cette classe de composés, dans laquelle M. Berthelot range également les matières ulmiques.

Quelques recherches exécutées au laboratoire de physiologie du Muséum par M. Hébert appuient cette manière de voir (1). Il a reconnu que si on expose de la terre en tubes scellés à des températures comprises entre 100 et 150°, la production de l'ammoniaque, notable quand la terre est humide, est presque arrêtée en l'absence de l'eau ; en outre elle est ralentie par la présence dans le liquide des sels ammoniacaux ; plus la proportion de ceux-ci est considérable, plus est faible la proportion d'ammoniaque fournie par les matières azotées du sol. Cette production paraît être limitée par la présence des corps qu'elle doit former, comme cela a lieu dans les phénomènes de dissociation.

MM. Berthelot et André, en opérant à l'aide de l'acide chlorhydrique plus ou moins dilué, ont reconnu que les matières azotées de la terre arable se comportaient à la façon des amides, donnant : 1° de l'ammoniaque en proportion variable avec l'énergie de l'attaque ; 2° des principes amidés solubles dans l'acide chlorhydrique et incomplètement précipitables par la saturation de l'acide ; 3° une matière azotée assez stable pour résister à l'action de l'acide bouillant.

La matière organique de la terre arable exerce sur la fertilité une action due, ainsi qu'il a été déjà dit :

1° A ce qu'après avoir subi des métamorphoses encore mal connues, elle paraît directement être assimilée par certaines espèces végétales (voyez page 111, assimilation de l'azote) ;

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 335.

2° A ce qu'elle est l'origine de l'ammoniaque et surtout des nitrates qui sont l'aliment azoté le plus efficace d'un très grand nombre de plantes de grande culture (voyez page 103).

La plus grande partie de cette matière organique ne se trouve pas dans le sol à un état favorable à l'assimilation ; c'est là ce qui a été établi à la suite d'une longue discussion justement célèbre, et sur laquelle il convient de revenir, car elle a conduit à des notions du plus haut intérêt.

§ 121. — Abondance de la matière organique azotée insoluble de la terre arable.

Nous avons vu que les terres arables, en bon état, renferment de 1 à 2 grammes d'azote combiné par kilogramme ; on a une idée plus précise de cette abondance de la matière organique dans les sols cultivés, en rapportant les nombres précédents à la surface d'un hectare.

On calcule le poids de la terre d'un hectare, en multipliant par 10,000, nombre de mètres carrés que présente cette surface, la hauteur de la terre considérée : 35 centimètres, par exemple, ce qui donnera pour le cube de terre d'un hectare 3,500 mètres cubes ; le poids sera obtenu, enfin, en multipliant ce nombre par le poids d'un mètre cube qui varie autour de 1200 kilos ; en effectuant ce calcul on trouve 4,200 tonnes ; et généralement on admet pour le poids de la terre d'un hectare 4,000 tonnes. Quand un sol renferme 1 gramme d'azote combiné par kilo, ou un millième, il contient 4,000 kilos d'azote combiné, et 8,000 kilos, si l'analyse a décelé 2 grammes par kilo.

Le même raisonnement s'appliquerait naturellement au carbone ; si la terre en contient un centième ou 10 grammes par kilo, un hectare en renfermera 40,000 kilos ; s'il en renferme deux centièmes il en contiendra 80,000 kilos. Si des terres arables nous passons aux prairies nous arrivons à des chiffres infiniment plus élevés. Nous pouvons même déduire approximativement du dosage de carbone la quantité d'humus que ces terres renferment ; en effet, l'humus contient environ 0,45 de carbone, mais on aura une approximation de son poids en se bornant à doubler la quantité de carbone dosé dans le sol. La terre d'Argentan, étudiée par Boussingault, renferme par kilo : 40 grammes de carbone, ou 80 grammes d'humus ou 80 kilos par tonne et, pour un hectare de 4,000 tonnes, 320 tonnes.

Théorie minérale de Liebig. — Réfutation. — Liebig, le premier, dévoila dans les terres arables les quantités énormes d'azote combiné qu'elles renferment; son observation remonte précisément à l'époque où Boussingault venait d'attribuer aux engrais une valeur d'autant plus grande que leur richesse en azote était plus considérable; quand on compare cependant les faibles exigences des récoltes, et les minimes proportions d'azote introduites par les fumures, aux énormes quantités d'azote combiné que le sol renferme, on conçoit très bien que Liebig ait repoussé les idées de l'illustre agronome français : une très bonne récolte de blé de 30 quintaux de grain et de 60 quintaux de paille renferme 60 kilos d'azote dans le grain, et 30 dans la paille, par conséquent au plus 100 kilos, en y ajoutant l'azote des racines.

Une forte fumure de 50,000 kilos de fumier n'apporte au sol, à 5 kilos par tonne, que 250 kilos d'azote; ainsi une bonne récolte exige 100 kilos d'azote, une forte fumure en apporte 250 kilos, nombres qui semblent disparaître devant les 5000 ou 6000 kilos que renferment les sols fertiles.

S'il rejetait l'idée que les engrais valent en raison de l'azote qu'ils contiennent, Liebig ne pouvait nier leur efficacité, il admit qu'elle était due seulement à leur matière minérale, et arriva ainsi à formuler sa fameuse théorie minérale n'attribuant le rôle d'engrais qu'aux phosphates ou aux sels de potasse qu'il supposait faire défaut dans le sol.

Nous savons aujourd'hui que ces éléments ne sont pas, en général, moins abondants dans le sol que l'azote lui-même; les terres qui renferment de 1 à 2 grammes d'acide phosphorique par kilogramme sont nombreuses, et la potasse est encore plus répandue. Si on conclut de l'abondance de l'azote à l'inutilité des engrais azotés, on sera conduit de même à conclure que la richesse des terres en acide phosphorique et en potasse rend inutile l'emploi des engrais phosphatés et potassiques, d'où enfin cette conclusion contraire à tout ce qu'enseigne la pratique agricole : les engrais sont inutiles. Il suffit d'énoncer cette proposition pour reconnaître qu'elle est absolument fausse; au reste la réfutation de l'opinion de Liebig ne se fit pas attendre : MM. Lawes et Gilbert commencèrent dès 1844, à Rothamsted, la longue série d'expériences qui a donné à ce domaine une réputation universelle, ils montrèrent sans peine que les récoltes amendées avec des engrais minéraux et des sels ammoniacaux sont bien plus abondantes que

celles que donnent les champs qui n'ont reçu que des engrais minéraux, que par suite les engrais azotés exercent une influence décisive sur le poids des récoltes.

Boussingault, de son côté, avait donné à l'expérience disposée pour combattre la théorie de Liebig une forme piquante qui lui assura une grande popularité. « Si, disait-il, dans son cours du Conservatoire des arts et métiers, il faut en croire M. de Liebig, si les parties minérales des engrais sont seules utiles, nous sommes, il faut le reconnaître, nous autres cultivateurs, de bien grands maladroits. Depuis des milliers d'années, nous nous donnons la peine de transporter péniblement nos fumiers de la ferme aux champs, nos attelages nous coûtent cher; faisons mieux, brûlons nos fumiers, nous aurons ainsi une toute petite quantité de cendres et pour le transporter une brouette fera l'affaire. »

L'essai fut disposé sur une terre appauvrie par la culture, on y porta les cendres obtenues de 500 kilos de fumier, et l'on y sema de l'avoine; pour comparer, on fuma une surface d'un are de la même terre avec 500 kilos de fumier et l'on attendit la récolte... Dans le champ qui avait reçu le fumier, 1 de graine rendit 14; dans le champ voisin amendé avec les cendres, 1 de graine rendit 4.

La théorie minérale de Liebig ne résiste donc pas à une discussion sérieuse; mais il n'en faut pas moins chercher à comprendre comment cette terre renfermant une quantité considérable d'azote combiné ne donne d'abondantes récoltes que lorsqu'elle reçoit des engrais azotés.

La raison est facile à saisir, les racines des végétaux ne s'emparent que des matières solubles dans l'eau ou dans les liquides légèrement acides qui imprègnent ces racines ; or l'humus qui renferme l'azote combiné ne se dissout dans l'eau qu'en minime proportion, et ses éléments ne peuvent être utilisés avant d'avoir subi des métamorphoses qui les amènent à l'état de matière organique assimilable, d'ammoniaque ou d'acide azotique.

Ces métamorphoses se produisent en effet dans le sol, mais ne sont pas en général assez rapides, pour fournir aux exigences de la masse énorme de végétaux de la même espèce, que les nécessités des semailles et des récoltes nous force à accumuler sur le même sol; tous les individus ont, à la même période de leur développement, les mêmes exigences, il faut donc que le magasin qui leur fournit leurs aliments soit amplement garni, or habituellement, si abondante que soit la matière organique, l'action qu'exercent sur elle les agents

atmosphériques et les ferments est trop faible pour amener à l'état assimilable, en quantités suffisantes et en temps utile, les aliments nécessaires à la production d'une abondante récolte, d'où l'utilité des engrais azotés.

Par une expérience directe de culture, Boussingault a donné de l'état d'inertie de la matière azotée de la terre arable une preuve convaincante : à l'opinion des savants sur la terre arable, l'illustre agronome a voulu joindre, suivant sa spirituelle expression, « l'opinion des plantes ».

On a planté un lupin dans un mélange formé de 1000 grammes de sable quartzeux, de 500 grammes de gros fragments de quartz et de 150 grammes de terre végétale du Liebfrauenberg, renfermant $0^{gr},34$ d'azote, c'est-à-dire ce qu'il y a dans $2^{gr},45$ de nitrate de potasse ou dans $0^{gr},41$ d'ammoniaque ; on avait ajouté en outre pour assurer l'alimentation minérale de la plante $0^{gr},2$ de cendres de foin. Quand on mit fin à l'expérience, le lupin était extrêmement chétif, il n'avait acquis pendant la végétation que $0^{gr},004$ d'azote, c'est-à-dire, ce que prend souvent une plante qui s'est développée librement à l'air dans du sable stérile : l'azote du sol n'était pas intervenu dans la végétation.

Des observations semblables furent recueillies sur des cultures de chanvre, de haricots nains, toujours on trouva que l'azote de la terre arable était resté inactif, et on comprit l'utilité d'ajouter des matières azotées directement assimilables à celles qui se produisent par les métamorphoses de l'humus du sol, pendant la durée de la végétation.

Les terres arables renferment donc, en général, une quantité notable de matières organiques azotées dont la plus grande partie est insoluble, non assimilable et ne le devient qu'en se transformant, d'où la nécessité de connaître ces transformations.

§ 122. — Formation de l'ammoniaque dans la terre arable.

Nous avons vu plus haut que l'ammoniaque peut prendre naissance dans la terre arable, par simple action chimique, elle est produite également par action microbienne.

MM. Berthelot et André ont étudié cette production d'ammoniaque (1), elle est toujours très faible ; si on abandonne des terres

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XI, p. 375.

sous un cristallisoir où l'on a placé deux soucoupes renfermant de l'acide sulfurique dilué, on reconnaît qu'en un mois 1 kilogramme n'émet pas 1 milligramme d'azote ammoniacal.

Les quantités d'ammoniaque que renferment les terres varient avec plusieurs conditions, tandis qu'on n'en trouve guère dans les terres normales où la nitrification transforme rapidement l'ammoniaque à mesure qu'elle se produit ; que, par exemple, M. Muntz a constaté (1) dans 1 kilogramme de terre légère, après onze jours d'expériences, 1 milligramme d'ammoniaque, et après soixante-cinq jours, 9 milligrammes dans une terre de jardin ; il en trouve bien davantage dans les sols où la nitrification est difficile ; tel est le cas pour une terre des Landes, à réaction acide : en huit mois, elle a formé par kilo : 25 milligrammes d'ammoniaque ; une terre tourbeuse, dans le même temps, en a produit 21 ; une terre forte peu perméable en a formé, toujours par kilogramme, et en huit mois : 23 milligrammes.

Une terre portée à 90°, température suffisante pour tuer le ferment nitrique, mais trop basse pour détruire d'autres organismes plus résistants, a formé en quatre mois et demi 8 milligrammes par kilo ; mais on n'en a plus trouvé quand la terre a été portée à 100°, ce qui paraît montrer que la production de l'ammoniaque est habituellement due à l'action d'un ferment figuré ; si en effet on ajoute à cette terre, qui ne transforme plus ses matières azotées en ammoniaque, une petite quantité d'une terre non stérilisée, l'ammoniaque y apparaît de nouveau.

Il ne semble pas que le ferment ammoniacal de la matière organique du sol ait été isolé ; il est vraisemblable, en effet, qu'il n'est pas identique au ferment de l'urée, découvert depuis longtemps par M. Van Tieghem et recherché plus récemment par M. Ladureau (2) dans la terre arable où il l'a trouvé très abondamment répandu.

Des considérations précédentes, on peut conclure que : soit par simple action chimique, soit par l'action des ferments figurés, les matières organiques azotées du sol fournissent de l'ammoniaque, qui très habituellement devient la proie du ferment nitrique ; la terre arable est, en effet, le siège d'oxydations constantes, que nous étudions dans le paragraphe suivant.

(1) *Comptes rendus*, t. CX, p. 1026.
(2) *Ann. agron.*, t. XI, p. 272.

§ 123. — Oxydation de la matière organique du sol. — Production d'acide carbonique. — Composition de l'atmosphère confinée des terres arables.

La matière organique de la terre arable est constamment en voie d'altération, aussi l'atmosphère confinée dans le sol est-elle toujours chargée d'acide carbonique.

L'analyse de cette atmosphère a été entreprise il y a longtemps déjà par Boussingault et Lewy (1); ils ont trouvé habituellement des nombres oscillant autour de 0,8 d'acide carbonique pour 100 volumes d'air, mais les proportions se sont élevées dans des champs récemment fumés à 1,54, à 2,24 et même dans ce dernier sol à 9,74 pour 100 volumes après une pluie. A Grignon, dans un sol bien fumé, on a trouvé dans 100 litres d'air : $1^{gr},16$, et $1^{gr},38$ d'acide carbonique; dans un sol pauvre : $1^{gr},16$, $1^{gr},13$, et $0^{gr},98$ (2).

M. Schlœsing fils a récemment (3) repris ce sujet : au lieu d'opérer comme Boussingault et Lewy qui pratiquaient un trou dans le sol pour y loger la tige de fer aspiratrice d'air, et qui, par conséquent, déterminaient dans l'atmosphère du sol ainsi remué de profondes modifications, il se borne à enfoncer dans la terre un tube d'acier d'un très faible diamètre intérieur; terminé par une pointe conique, il aspire l'air au moyen d'un écoulement de mercure et procède à l'analyse eudiométrique des échantillons recueillis.

Pour les terres labourées les nombres sont analogues à ceux qu'ont donnés Boussingault et Lewy; pour les terres de prairie les proportions d'acide carbonique augmentent, et celles d'oxygène diminuent jusqu'à tomber à 10 dans 100 de gaz. Jamais cependant on n'a trouvé de terres dans lesquelles l'oxygène fît défaut.

D'une époque à une autre, la composition de l'atmosphère d'un même sol peut subir des variations considérables. En général, on trouve plus d'acide carbonique à une grande profondeur que dans les couches voisines de la surface, mais il n'en est pas toujours ainsi. A distance égale du sol, sur des pentes aboutissant à un fond de vallée, l'atmosphère a été trouvée nettement plus riche en acide carbonique aux points les plus bas qu'à quelques mètres au-dessus;

(1) *Ann. de ch. et de phys.*, 3e sér., XXXIX, 257.
(2) *Ann. agr.*, t. XV, p. 503.
(3) *Comptes rendus*, t. CIX, 618 et 673. — *Ann. agr.*, t. XVI, p. 15.

l'acide carbonique coule dans le sol à la façon d'un liquide.

Dans le mémoire qu'il a consacré à l'étude de l'acide carbonique confiné dans le sol, M. Wolny (1) a montré que la quantité d'acide carbonique contenu dans le sol n'est pas en proportion de l'humus qu'il renferme, il a reconnu en outre que si, comme je l'avais annoncé, la production de l'acide carbonique n'est pas complètement arrêtée, quand on paralyse l'action des microorganismes par du chloroforme, elle est au moins singulièrement diminuée. Wolny trouve en effet qu'une terre qui après vingt-quatre heures renferme 9,47 d'acide carbonique p. 100 de gaz, quand elle est mise en expérience à l'état normal, n'en renferme que 0,11 quand elle a été préalablement stérilisée.

Les microorganismes du sol portent donc leur action sur la matière carbonée, et tendent à la brûler; les pertes de carbone des sols laissés sans engrais sont plus rapides que les pertes d'azote.

Si en effet on procède au dosage simultané de carbone et de l'azote dans des terres régulièrement fumées ou dans des terres cultivées sans fumier, on trouve que le rapport du carbone à l'azote est beaucoup plus élevé dans les sols fumés que dans ceux qui sont restés longtemps sans engrais.

C'est ce qui résulte du tableau suivant :

Azote et carbone par kilo de terres restées longtemps sans engrais et de terres régulièrement fumées (*Champ d'expérience de Grignon*) (2).

NUMÉROS DES PARCELLES.	AZOTE.		CARBONE.		RAPPORT du carbone à l'azote.	
	1878.	1888.	1878.	1888.	1878.	1888.
37. Sans engrais depuis 1875..	1.67	1.48	15.19	7.30	9.0	4.9
21. Sans engrais depuis 1875..	1.74	1.50	16.30	7.30	9.3	4.8
49. Fumé.....	2.00	1.90	15.2	16.10	7.6	8.4
32. Fumé.....	2.00	1.80	16.6	16.0	8.3	8.5

Il est manifeste, ainsi qu'il a été dit, que la perte de carbone a été beaucoup plus rapide que celle de l'azote.

Contrairement à ce qu'on aurait pu supposer *à priori*, la matière azotée pauvre en carbone qui persiste dans les sols 37 et 21 culti-

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 473.
(2) *Ann. agron.*, t. XV, p. 483.

vés sans engrais est peu soluble dans l'eau; les eaux de drainage qui s'écoulent des terres épuisées par la culture sans engrais sont incolores, au lieu de présenter une forte teinte ambrée, comme celles que laissent filtrer les terres bien fumées. — Cette matière organique des terres épuisées n'exerce qu'une faible action sur l'alimentation d'un certain nombre d'espèces végétales, qui restent chétives après addition d'engrais salin et ne se développent normalement qu'autant que la terre épuisée est additionnée d'une nouvelle proportion de matière organique.

FORMATION DES NITRATES DANS LA TERRE ARABLE.

L'action oxydante de l'atmosphère ne s'exerce pas seulement sur le carbone des matières organiques, elle se porte également sur l'azote, et engendre les nitrates. Nous avons vu que ces sels sont l'aliment azoté par excellence d'un grand nombre d'espèces végétales, d'où le très grand intérêt que présente l'étude de leur formation; elle est exposée dans les paragraphes suivants:

§ 124. — Historique.

Nitrification de l'ammoniaque sous l'influence des corps poreux. — On doit à Kuhlmann une expérience qui est restée justement célèbre.

Si l'on dirige un courant de gaz ammoniac mélangé d'air sur de la mousse de platine, celle-ci devient rouge de feu, l'ammoniaque est brûlée, son hydrogène donne de l'eau, l'azote lui-même s'oxyde : on recueille des composés nitreux. Cette expérience est souvent répétée dans les cours de chimie. Si, au lieu d'air, on emploie de l'oxygène pour activer la combustion de l'ammoniaque, il faut interposer sur le courant des gaz un tube renfermant une toile métallique, pour éviter le retour de la flamme dans le ballon où elle pourrait déterminer une explosion dangereuse; il est, en somme, plus prudent d'opérer avec de l'air; en garnissant un tube en U avec de l'amiante platiné, qu'on chauffe légèrement, l'expérience est très brillante, l'amiante devient incandescent sur toute la longueur du tube. (On prépare l'amiante platiné en imbibant l'amiante de chlorure de platine, desséchant et calcinant; le chlorure se décompose et l'amiante est complètement imprégné d'éponge de platine très fine.)

Pendant longtemps cette expérience fut considérée comme décisive. On assimilait les corps poreux sur lesquels le salpêtre apparaît spontanément : la terre arable, les plâtras, les murs des caves, des étables, etc., à la mousse de platine et l'on supposait que l'ammoniaque provenant de la décomposition des matières azotées se brûlait sous l'influence de ces corps poreux, comme elle se brûle dans l'expérience de Kuhlmann.

En voyant le mur d'une écurie se couvrir de salpêtre, on supposait que le

carbonate d'ammoniaque répandu dans l'atmosphère finissait par imprégner les couches rugueuses des constructions, et qu'à cause de sa porosité celles-ci déterminaient l'oxydation de l'ammoniaque.

Expérience de Boussingault. — Telles étaient les idées répandues, quand une expérience de Boussingault ouvrit une voie nouvelle. Ayant introduit des matières azotées faciles à nitrifier, telles que du sang, dans divers corps poreux : sable, craie ou terre arable, il reconnut que la terre exerçait une action toute spéciale, que la nitrification y était active, tandis qu'au contraire, malgré leur porosité, la craie ou le sable n'engendraient pas de nitrates (1). Bien qu'au moment où Boussingault publia ce mémoire important, M. Pasteur, très frappé de l'intervention de quelques végétaux inférieurs, dans les phénomènes d'oxydation des matières organiques, eût déjà indiqué qu'il convenait d'appliquer ces idées nouvelles à l'étude de la nitrification; Boussingault n'y fit aucune allusion dans le mémoire que nous venons de citer, et c'est à MM. Schlœsing et Muntz que revient l'honneur d'avoir démontré que la nitrification se produit sous l'influence d'un ferment figuré.

§ 125. — La nitrification est due a l'action d'un ferment.

La démonstration de l'exactitude de cette importante découverte découle des points suivants : 1° Une terre susceptible de transformer les matières azotées en nitrates perd cette propriété si elle est portée à 110°; elle est dans ce cas stérilisée et devient incapable de provoquer la nitrification; 2° Mais elle retrouve ses propriétés premières, si elle est mélangée à une terre qui n'a pas été chauffée; on procède dans ce cas à un véritable ensemencement du ferment nitrique; 3° on reconnaît que ce ferment est un être organisé à l'action curieuse qu'exerce sur lui le chloroforme; une terre qui transforme aisément l'ammoniaque en acide azotique perd momentanément son action, quand elle est placée dans une atmosphère imprégnée de vapeurs de chloroforme; quelque temps après que ces vapeurs se sont dissipées, la nitrification se produit de nouveau.

Découverte du ferment nitrique. — Si les travaux de MM. Schlœsing et Muntz démontraient que les nitrates sont produits par l'intervention d'un ferment, ils n'avaient pu réussir à isoler celui-ci, et ce n'est que tout récemment que l'organisme nitrifiant a été décrit et cultivé par M. Winogradsky. Cinq ou six jours après l'ensemencement (2) d'un liquide ne renfermant que 1 gramme de sulfate d'ammoniaque, 1 gramme de phosphate de potasse dans un litre d'eau et du carbonate de magnésie, on voit apparaître un

(1) *Agronomie*, t. VI, p. 191.
(2) *Ann. de l'Institut Pasteur*, t. IV, p. 213.

léger trouble dû à des organismes ovales un peu fusiformes, se mouvant avec une grande agilité dans le liquide; après quelque temps ces organismes tombent au fond du liquide, recouvrent le carbonate de magnésie et l'englobent dans une matière gélatineuse qu'ils sécrètent.

Ce sont ces organismes qui déterminent la transformation de l'ammoniaque en acide nitreux; ils jouissent de cette propriété très curieuse et très inattendue, de se développer, de pulluler dans un milieu ne renfermant pas de matières organiques ; ils s'emparent, pour former leurs tissus, du carbone des carbonates, trouvant dans la combustion de l'hydrogène de l'ammoniaque l'énergie nécessaire à la réduction de l'acide carbonique.

Le ferment de Winogradsky ne fournit guère, ainsi qu'il vient d'être dit, que de l'acide nitreux, celui-ci se transforme en acide nitrique sous l'influence d'une autre bactérie, qui complète son oxydation (1).

Si les faits précédents se confirment, on voit que la transformation de la matière organique azotée de la terre arable exigerait l'intervention de trois microorganismes différents :

1° Un ferment ammoniacal, agissant sur la matière organique pour en dégager de l'ammoniaque;

2° Un ferment nitreux, brûlant l'ammoniaque et l'amenant à l'état d'acide nitreux, ou de nitrite quand il agit en présence de bases salifiables;

3° Un ferment nitrique complétant l'action oxydante du précédent et transformant les nitrites en nitrates.

M. Muntz, au reste, professe que cette dernière transformation peut avoir lieu par simple action chimique, sous l'influence simultanée de l'acide carbonique et de l'oxygène (2), mais M Warington ne partage pas cette manière de voir.

Diffusion du ferment nitrique. — Le ferment nitrique paraît être très répandu. MM. Muntz et Aubin ont pu constater sa présence non seulement dans toutes les terres cultivées qu'ils ont examinées, mais encore dans des lieux déserts et même des stations élevées telles que le sommet du Pic du Midi; en revanche M. Warrington, qui a recherché sa distribution dans la terre arable, l'y a toujours trouvé dans les couches superficielles, mais, au contraire, assez

(1) *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 89.
(2) *Comptes rendus*, t. XII, p. 142.

irrégulièrement distribué au-dessous de 225 millimètres (1). M. Roch, de son côté, a trouvé que les microorganismes diminuent beaucoup dans le sol à mesure que les échantillons sont pris à une plus grande profondeur.

Il découle quelques conclusions pratiques importantes du peu de profondeur à laquelle se trouvent les organismes nitrificateurs. Il est évident que l'oxydation de la matière azotée dans le sol sera confinée près de la surface; donc, quand on emploie un sol filtrant pour l'oxydation de l'eau d'égout, il n'y aura pas beaucoup à gagner à en augmenter l'épaisseur, si on laisse le sol dans son état normal; mais si au contraire on disposait un filtre artificiel, il ne faudrait employer pour le préparer que des terres prises à la surface.

Toutes les terres sont bien loin de nitrifier avec la même énergie; le manque d'activité de la nitrification peut être dû sans doute à la rareté du ferment nitrique, mais comme il est habituellement très répandu, il est plus probable que les conditions favorables à la nitrification font défaut dans la terre considérée; il importe donc de préciser ces conditions.

§ 126. — Conditions d'activité du ferment nitrique.

Ces conditions sont les suivantes : 1° libre circulation dans le sol de l'air atmosphérique ; 2° humidité convenable ; 3° présence d'une matière azotée nitrifiable ; 4° présence d'une base salifiable ; 5° température comprise entre 10° et 45°.

Libre circulation de l'air. — Cette condition est bien loin d'être toujours remplie dans le sol. Il est manifeste qu'une terre à sous-sol imperméable, non drainée, se gorge d'eau aisément et que par suite la nitrification y est complètement arrêtée; il est vraisemblable que l'accroissement de fertilité si remarquable qu'acquièrent les terres fortes, quand elles sont drainées et bien travaillées, est dû, en grande partie au moins, à ce qu'elles deviennent capables de produire régulièrement des nitrates, aussitôt que l'ameublissement y a favorisé l'accès de l'air (2). Or, si l'on se rappelle qu'un grand nombre de plantes cultivées et particulièrement les graminées prennent la plus grande partie sinon

(1) *Ann. agr.*, t. XI, p. 49.
(2) *Culture des terres fortes* par M. Proust. — *Ann. agron.*, t. XIII, p. 80 et *Cult. exp.* de Wardrecques, t. XII, p. 40.

la totalité de leurs aliments azotés sous forme de nitrates, on conçoit à quel point l'écoulement de l'eau stagnante par le drainage, la pulvérisation du sol par les instruments deviennent avantageux.

Humidité. — Dans une terre sèche, la nitrification s'arrête complètement. Quand on maintient la terre dans une atmosphère saturée où la dessiccation devient impossible, il suffit que la terre renferme cinq centièmes d'humidité pour que la nitrification s'y établisse; elle y fait toutefois moins de progrès que dans un sol renfermant 10 à 15 centièmes d'eau; dans une atmosphère saturée, des doses d'humidité plus considérables ne sont plus avantageuses.

Quand une terre est régulièrement arrosée et bien perméable, les matières azotées qu'elle contient produisent des quantités notables de nitrates; en six mois, 100 grammes d'une terre de Grignon ont produit 88 milligrammes d'acide azotique. On voit qu'en une année une terre riche en matières azotées (celle sur laquelle on a opéré renfermant $2^{gr},61$ d'azote par kilogramme) fournirait une quantité d'azote nitrifié correspondant à environ 1000 kilogrammes par hectare.

Cette quantité formée au laboratoire, dans un sol en poudre fine et régulièrement arrosé, est bien supérieure à celle qui est nécessaire à la production des récoltes les plus abondantes, puisqu'une très bonne récolte de betteraves à sucre de 50 000 kilogrammes renferme seulement 100 kilogrammes d'azote et qu'une très bonne récolte de blé n'en contient pas davantage. Il est vrai que les proportions s'élèvent pour les prairies; quand on récolte 10 000 kilogrammes de foin, on prélève sur le sol 150 kilogrammes d'azote, et, si la récolte s'élève à 15 ou 18 tonnes, ainsi que cela a lieu sur les marcites de Milan, la quantité d'azote dépasse 200 kilogrammes et peut atteindre 250 kilogrammes; mais ces quantités, si fortes qu'elles soient, n'atteignent pas celles qui prendraient naissance dans une terre régulièrement arrosée et maintenue à une température élevée, comme peuvent l'être les sols cultivés par les maraîchers. Quand les circonstances cessent d'être exceptionnellement favorables, les quantités produites diminuent beaucoup.

A Grignon, nous avons trouvé pour les eaux de drainage s'écoulant de grands pots renfermant 50 kilogrammes de terre non arrosés, mais simplement exposés à la pluie, de juin 1889 à juin 1890 (1),

(1) *Ann. agr.*, t. XVI, p. 337.

des quantités bien moindres que les précédentes; on a déduit des quantités dosées et de la surface de ces pots ce qu'auraient perdu en une année les terres non couvertes de végétaux, on a obtenu les quantités suivantes :

Azote nitrique contenu dans l'eau de drainage d'un hectare de terres nues (de juin 89 à juin 90).

	Kilogr.
Terres en prairie depuis 1879	104.9
— régulièrement fumées	137.5
— sans engrais depuis 1875	92.7
Moyenne	111.7

Les quantités de nitrates formées sont donc considérables, même dans un sol resté sans engrais depuis longtemps; il est bien à remarquer au reste que les chiffres précédents ne représentent pas la totalité des nitrates formés, le lavage par l'eau de la pluie n'épuisant pas le sol d'une façon complète. Quoique les nombres précédents soient encore élevés, ils sont bien loin de ceux que nous avons constatés au laboratoire, quand nos terres ont été régulièrement arrosées, d'où la preuve que l'humidité du sol a une influence décisive sur l'activité de la nitrification.

Présence d'une matière azotée nitrifiable. — De toutes les matières azotées nitrifiables, l'ammoniaque est celle qui, lorsque les autres conditions sont réalisées, fournit en un temps donné la plus grande quantité d'azote nitrique; M. Schlœsing a constaté qu'en une quinzaine de jours tout l'azote de l'ammoniaque introduite dans une terre humide avait été transformé; j'ai constaté qu'une terre de jardin humide qui avait reçu $0^{gr},020$ d'azote ammoniacal avait produit en trente-quatre jours $0^{gr},0194$ d'azote nitrique ; si l'humidité diminue, la nitrification de l'ammoniaque devient moins active, elle se transforme même moins facilement que la matière organique de la terre arable.

Nous avons vu plus haut que dans toutes les terres l'azote et le carbone sont bien loin d'être dans le même rapport, il est donc vraisemblable que toutes les terres ne renferment pas de matières organiques identiques, d'où l'on comprend que ces matières ne seront pas attaquées avec la même énergie par les microorganismes du sol, et que par suite les quantités de nitrates formés varieront beaucoup d'une terre à l'autre; les nombres suivants, qui se rapportent aux eaux de drainage recueillies du 1er mars au 7 novembre 1890, calculés à l'hectare, en donnent un exemple frappant.

Azote nitrique en kilogr. à l'hectare.

Terre de Grignon, parcelle épuisée	34.3
— — fumée	51.2
Wardrecques (Pas-de-Calais)	107.9
Blaringhem (Pas-de-Calais)	128.1
Marmilhat (Limagne d'Auvergne)	62.6
Palbost (Limagne d'Auvergne)	45.2

MM. Lawes, Gilbert et Warington estiment la formation de l'azote nitrique à Rothamsted à 50 kilogrammes par hectare et par an.

M. Muntz a donné de nombreux exemples de terres dans lesquelles la nitrification est très peu active, non seulement parmi des terres très fortes, qui sont peu perméables à l'air, mais aussi dans les terres très riches en matières organiques, dites terres acides qui existent dans les landes de Bretagne ; le ferment nitrique, en effet, ne fonctionne que dans un milieu présentant une très légère réaction alcaline.

Les sols forestiers ne renferment pas de nitrates, le fait observé autrefois par Boussingault a été confirmé de nouveau par M. Bréal à l'aide d'un procédé très ingénieux et très délicat (1).

« Nous utilisons », dit-il, « la propriété des nitrates dissous dans l'eau de s'accumuler dans les espaces capillaires aux points où l'évaporation est plus active. Une bande de papier à filtre blanc est introduite dans le vase qui renferme la terre ou l'eau, dans lesquelles on recherche les nitrates, une des extrémités de cette bande de papier flotte librement dans l'air; le nitrate monte peu à peu par capillarité dans le papier et vient s'accumuler à l'extrémité de la partie flottante. Si le milieu étudié recèle les moindres traces d'acide nitrique, nous les aurons accumulées, après douze ou quinze heures, sur une longueur de 1 à 2 millimètres, à l'extrémité de la bandelette. Nous la coupons avec des ciseaux et nous la plaçons sur une assiette ou sur une lame de verre pour la faire sécher. Après dessiccation, nous faisons tomber sur le fragment de papier une goutte de sulfo-phénol, réactif des nitrates, connu depuis longtemps. La goutte prend, après quelques minutes, une teinte rouge-sang vineux tout à fait caractéristique, quand même le papier n'aurait absorbé que de très minimes quantités d'acide nitrique. Si nous faisons ensuite tomber une ou deux gouttes d'ammoniaque sur le sulfo-phénol teint en rouge, une coloration bleue ou verte très intense apparaît aussitôt.

« Dans les très intéressantes recherches qu'il a exécutées sur la nitrification, M. Warington a reconnu qu'elle était peu active, dans des milieux très chargés de matière organique et peut-être l'impossibilité où l'on se trouve de constater la présence des nitrates dans les sols forestiers, dans les terres de

(1) *Ann. agr.*, t. XIII, p. 323.

prairie, tient-elle non seulement à la réaction acide de ces terres, mais en outre à l'abondance de l'humus qu'on y trouve. »

Présence d'une base salifiable. — La nitrification ne se produit pas dans un milieu acide. On conçoit dès lors que, s'il n'existe pas dans les mélanges mis à nitrifier un alcali susceptible de saturer l'acide nitrique à mesure qu'il se produit, la formation ultérieure des nitrates soit complètement entravée ; c'est ce qu'a nettement observé M. Warington (1). Il a reconnu en outre, après MM. Schlœsing et Muntz, que si une légère réaction alcaline était nécessaire, un excès de base soluble était nuisible. L'influence fâcheuse de la chaux caustique sur la nitrification a été signalée depuis longtemps par Boussingault. L'alcalinité de l'eau de chaux serait, d'après M. Warington, deux fois supérieure à celle qui empêche l'acide nitrique de se produire.

Un chaulage énergique appliqué à une terre peut donc suspendre la nitrification pendant un certain temps, jusqu'à ce que la chaux ait été carbonatée ; mais le résultat final sera favorable si la terre à l'origine manquait de chaux.

C'est ce qu'ont montré MM. Muntz et A. Ch. Girard, sur une terre acide de Bretagne qui, incapable de nitrifier l'azote du sang, de la corne torréfiée ou du guano tant qu'elle restait à l'état normal, a formé au contraire une quantité notable d'acide nitrique, aussitôt qu'elle a été marnée (2).

La condition favorable est donc un faible degré d'alcalinité, si celle-ci s'exagère : la nitrification cesse de se produire, l'urine notamment ne sera transformée que si elle est étendue d'eau. Bien que les propriétés absorbantes de la terre s'exercent aisément sur le carbonate d'ammoniaque, et que par suite l'alcalinité de l'urine répandue sur le sol soit diminuée grâce à ces propriétés absorbantes, les cultivateurs devront se souvenir que les engrais alcalins tels que le purin agiront d'autant mieux qu'ils seront plus dilués. Quand des bêtes à cornes ou des moutons séjournent sur des champs par des temps secs, l'urine qu'ils émettent fournit rapidement, par transformation, de l'ammoniaque, qui a de grandes chances d'être perdue, au moins partiellement ; sa dissolution est trop concentrée pour être nitrifiée.

Circonstances diverses qui favorisent la nitrification. Tem-

(1) *Ann. agr.*, t. XI, p. 49.
(2) *Id.*, t. XVII, p. 297.

pérature. — MM. Schlœsing et Muntz ont étudié l'influence de la température sur l'activité de la nitrification ; ils ont reconnu que la formation de l'acide azotique, à peu près nulle au-dessous de 5 degrés, devient très appréciable à 12 degrés, et croît jusqu'à 37 degrés, température correspondant au maximum d'activité ; au delà, elle diminue rapidement et devient nulle à 55 degrés. Toutes choses égales d'ailleurs, la production des nitrates à 37 degrés est dix fois plus considérable qu'à 14 degrés. Pour les terres pauvres en matières azotées, on ne voit plus que l'influence de la température soit aussi sensible.

Trituration du sol. — On a remarqué depuis longtemps qu'une terre remuée fournit plus d'acide carbonique qu'une autre dans laquelle l'air pénètre plus difficilement et ce n'est pas seulement à la circulation plus rapide de l'oxygène atmosphérique qu'il faut rapporter les oxydations. M. Schlœsing attribue l'influence qu'exerce l'ameublissement du sol sur la nitrification à une nouvelle répartition des organismes qui favorisent la combustion. « Dans les milieux liquides, les êtres microscopiques se déplacent aisément et portent leur action sur tous les points ; il n'en est pas de même dans la terre, ils n'y jouissent pas de cette facilité de transport. Ils ne trouvent, sur la surface des éléments d'une terre moyennement humide, que des couches d'eau infiniment minces, peu propices à leur déplacement ; ils agissent donc sur place, et, quand ils ont consommé la plus grande partie des éléments à leur portée, leur travail doit se ralentir. Si l'on émiette la terre, on les répand en des endroits où ils trouvent de nouvelles ressources, où ils se développent et travaillent avec activité, de là le redoublement de la combustion. »

J'ai essayé de répéter l'expérience de M. Schlœsing : en trente-deux jours 100 grammes de terre triturée ont fourni 23 milligrammes d'acide azotique, tandis qu'un lot tout pareil, mais non remué, n'en a fourni que 19. En répétant une seconde fois la trituration, l'effet produit n'a plus été sensible ; pendant une seconde période de vingt-neuf jours, la terre remuée a donné 16 milligrammes d'acide azotique et celle qui est restée en repos 17 ; les deux quantités ont donc été sensiblement égales.

Conditions qui retardent ou arrêtent la nitrification. — Présence des nitrates. — On a observé souvent qu'un ferment crée autour de lui un milieu défavorable à son activité. Il était donc intéressant de savoir si l'on provoquerait dans une terre une nitrifi-

cation plus abondante, en enlevant les nitrates à mesure de leur formation, qu'en les laissant s'accumuler; l'expérience n'a pas montré qu'il en fût ainsi; la quantité de nitrates formés dans une terre soumise à quatre épuisements, de mois en mois, a été sensiblement la même que celle qui s'est produite dans un sol où, au contraire, les nitrates n'ont été extraits qu'après quatre mois.

Si, au lieu de laisser dans le sol en expérience les nitrates produits par la lente transformation de la matière azotée du sol, on suit la nitrification dans une terre préalablement additionnée de quantités variables de nitrate de soude, on trouve que tout d'abord cette addition est défavorable. Ainsi 100 grammes de terre additionnés de 6 centigrammes de nitrate de soude n'ont pas formé de nitrates en trente et un jours. Mais, peu à peu, le ferment nitrique s'adapte aux circonstances nouvelles dans lesquelles il est placé, et fournit des quantités croissantes d'acide azotique; après cent cinq jours, on a trouvé que 9 milligrammes d'azote s'étaient nitrifiés dans 100 grammes de terre.

Une dose beaucoup plus forte de nitrate de soude, s'élevant à 6 décigrammes pour 100 grammes, a d'abord arrêté la nitrification; puis celle-ci s'est établie, mais plus faiblement que dans l'expérience précédente.

Sel marin. — Une dose moyenne de sel marin n'a pas entravé la nitrification. Une terre humide renfermant un millième de sel marin a formé, en trente-quatre jours, 24 milligrammes d'acide azotique; mais en quatre-vingt-deux jours il ne s'en est formé que 32, comme si l'activité du ferment nitrique s'était peu à peu ralentie.

En introduisant dans 100 grammes de terre 25 centigrammes de sel marin, on a encore observé une nitrification assez abondante après quarante-trois jours; mais, après quatre-vingt-deux jours, la quantité formée s'est trouvée beaucoup plus faible; au lieu de s'habituer à ces conditions nouvelles, le ferment a dépéri.

Des doses de sel marin, s'élevant à 40 centigrammes ou 1 gramme pour 100, ont complètement arrêté la nitrification.

Résumé des conditions de la nitrification. — En résumé, sur les conditions nécessaires à la nitrification, il en est trois que les cultivateurs peuvent obtenir. Par le drainage et un excellent travail du sol, ils assurent la pénétration de l'air; par le chaulage ou le marnage des terres privées de calcaire, ils apportent la base salifiable; par les fumures, ils fournissent la matière azotée nitrifiable;

quant à l'humidité et à la température, elles ne dépendent pas d'eux, et tant que les terres ne sont pas régulièrement arrosées, l'activité de la nitrification, qui, pour plusieurs plantes cultivées, engendre la fertilité, sera soumise à l'influence des saisons.

Or, l'expérience enseigne qu'habituellement les terres ne produisent pas toujours des nitrates aux moments les plus favorables. Le climat des environs de Paris est au printemps assez humide pour que la nitrification puisse s'établir, mais la température est peu élevée, de telle sorte que très souvent les nitrates ne se forment pas en quantité suffisante pour assurer l'alimentation de végétaux en pleine période d'accroissement, aussi l'emploi du nitrate de soude appliqué au printemps est-il généralement avantageux.

En revanche il arrive souvent que la nitrification est très active à l'automne, et, quand la terre est découverte, les nitrates formés sont perdus, nous verrons un peu plus loin comment on peut éviter des pertes qui dans les automnes humides sont considérables (Voyez chapitre V de cette seconde partie, et le chapitre : *Engrais verts.*

§ 127. — Matières que doit présenter la terre arable pour assurer l'alimentation azotée des végétaux.

Nous venons d'insister longuement sur les conditions de formation des nitrates dans la terre arable ; quand ces conditions sont remplies, l'alimentation azotée de la plante est-elle assurée ; en d'autres termes, une terre qui outre les matières minérales ne fournirait aux végétaux qu'elle porte que des nitrates, se couvrirait-elle d'une récolte rémunératrice ?

Si on a semé du blé ou de l'avoine, on peut croire que la récolte sera bonne si toutes les conditions d'humidité, de température, d'alimentation minérale sont réalisées, quand bien même la terre ne fournirait guère que des nitrates ; c'est ce qui découle de l'admirable expérience de MM. Lawes et Gilbert, maintenant la culture du blé pendant quarante-six ans sur le même sol, en lui fournissant uniquement des engrais minéraux et des nitrates ou des sels ammoniacaux qui rapidement se métamorphosent en nitrates. C'est ce qu'ont démontré encore les expériences de MM. G. Ville et celles de M. Pagnoul ; ce dernier a pu réaliser dans du sable additionné de matières minérales et de nitrates des récoltes de blé correspon-

dant aux plus fortes qu'on obtienne dans les bonnes terres (1).

Mais il n'en est plus de même pour d'autres végétaux, ainsi que nous l'avons vu dans la première partie de cet ouvrage ; ni les betteraves, ni le chanvre, ni le maïs, ni le trèfle ne s'accommodent d'une nourriture purement minérale ; les expériences exécutées à Grignon sur ce sujet le démontrent clairement.

Il est nécessaire de maintenir dans le sol une certaine dose d'humus à l'aide d'apports de fumier de ferme ou d'engrais organique, tels que les tourteaux ou les plantes enfouies en vert. Les engrais salins exercent une influence heureuse, mais ils n'assurent pas à eux seuls des récoltes rémunératrices, pas plus que l'humus seul ne conduit aux grands rendements.

En général, la nitrification au printemps n'est pas assez active pour assurer les fortes récoltes et l'emploi du nitrate de soude est utile, mais il ne doit pas faire négliger l'emploi du fumier, qui apporte au sol l'humus, aussi nécessaire au développement de certains végétaux que les matières minérales dont nous devons maintenant nous occuper.

DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DES TERRES ARABLES.

§ 128. — Quantités d'acide phosphorique contenu dans différens sols.

Nous avons indiqué dans le chapitre précédent les méthodes à employer pour doser l'acide phosphorique total du sol, et en outre l'acide phosphorique appartenant aux phosphates solubles dans l'acide acétique.

En appliquant ces procédés, on trouve dans les différents sols des quantités très variables d'acide phosphorique total.

Dans les bonnes terres arables, on dose de 1 à 2 grammes d'acide phosphorique par kilogramme. Les terres d'origine granitique, schisteuse, sont souvent beaucoup plus pauvres que les précédentes, les terres volcaniques sont au contraire beaucoup plus riches, ainsi que le montre le tableau ci-joint.

Ces chiffres ne donnent pas une idée nette de la quantité contenue à l'hectare ; si on se rappelle qu'on peut admettre pour le poids du sol actif 4,000 tonnes, on voit qu'une terre renfermant 1 gramme d'acide par kilo en contiendrait 4,000 kilos à l'hectare,

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 481.

et 8,000 kilos quand l'analyse indique 2 millièmes; la terre n'indiquant que $0^{gr},2$ au kilo contiendrait donc seulement 800 kilos. Ces faibles quantités sont exceptionnelles, et il résulte des nombreux dosages effectués par M. Schlœsing, par M. de Gasparin et de ceux que j'ai faits moi-même, que les terres renferment souvent de 5 à 6,000 kilos d'acide phosphorique à l'hectare. Nous réunissons dans le tableau suivant un certain nombre de déterminations.

Désignation des terres.	Acide phosphorique par kilo. gr.	Acide phosphorique par hectare (1). kilos.	Analystes.
Terre de M. Bolland (Moselle)	1.5	6.000	Schlœsing.
— prise à Vaujours	1.9	7.600	Id.
— de Boulogne (Seine)	2.4	9.600	Id.
Polder du Dain	1.6	6.400	Id.
Terre de bruyère	1.5	6.000	Id.
— à betteraves	2.3	9.200	Id.
— d'un étang	1.0	4.000	Id.
Sables granitiques (Ardèche)	6.2	24.800	De Gasparin.
Alluvions de la Durance	4.2	16.800	Id.
Diluvium de la Méditerranée	4.9	19.600	Id.
Argiles marneuses de l'Ain	1.2	6.800	Id.
— de Wardrecques (Pas-de-Calais).	1.35	5.040	Dehérain.
— de Blaringhem (Nord)	0.748	2.992	Id.
Terres provenant de la désagrégation du granite (Auvergne) (2).			
Terre du Bourgnon (canton de St-Dié).	0.86	3.440	Truchot.
— —	0.54	2.160	Id.
Terre du Cherq (canton de Sauxillanges)	0.24	960	Id.
Terre de St-Maud (canton d'Issoire).	0.56	2.240	Id.
Terres provenant de la désagrégation des rochers volcaniques (Limagne d'Auvergne.			
Terre de Saint-Bonnat, près Chauriot.	2.74	10.960	Id.
— —	3.09	12.360	Id.
Terre de Mont-Desir près Clermont.	2.96	11.840	Id.
— de Sarlieue	2.54	10.160	Id.
— —	3.29	13.160	Id.
— de Marmilhat (Limagne)	1.45	11.600	Hébert.
— de Palbost	2.36	18.880	Id.

On voit que si en général les terres granitiques sont pauvres en acide phosphorique, les terres volcaniques riches, il y a cepen-

(1) *Ann. agron.*, t. I, p. 535.

(2) Ces terres présentent une telle épaisseur que, pour avoir la teneur à l'hectare, il convient de multiplier les nombres trouvés au kilo, non par 4000 comme on le fait pour une terre de moyenne épaisseur, mais bien par 8000 et on est encore certainement au-dessous de la vérité.

dant des exceptions; c'est ainsi que M. de Gasparin a trouvé dans des sables granitiques de l'Ardèche la proportion énorme de 6 millièmes d'acide phosphorique; M. Le Chartier 1,20 d'acide phosphorique par kilogr. dans des granites de Bretagne, 2,07 dans des schistes gris et 1,08 dans des schistes rouges.

Quoi qu'il en soit, toutes les terres examinées ci-dessus renferment à l'hectare une quantité d'acide phosphorique notable et il est clair que si la totalité de cet acide était engagée dans des combinaisons telles que les plantes pussent s'en saisir, elles y trouveraient une réserve suffisante pour assurer les récoltes pendant bien des années, car contrairement à ce que nous verrons pour les nitrates, les eaux qui traversent le sol n'entraînent au dehors que des quantités insignifiantes de phosphates. Toutefois, il n'est pas certain, *a priori*, que l'acide phosphorique soit dans le sol à l'état assimilable, et de même que nous n'avons pas conclu, de l'abondance des matières azotées de la terre arable, à l'inutilité des engrais azotés, nous ne pouvons pas conclure de l'abondance des phosphates dans la terre arable, à l'inutilité de l'apport des engrais phosphatés.

L'expérience enseigne que sur certains sols ces engrais sont très efficaces, qu'ils le sont beaucoup moins dans d'autres, sans que le dosage de l'acide phosphorique total permette de prévoir absolument si les engrais phosphatés seront utiles ou sans action.

Pendant plusieurs années, on a cultivé au champ d'expériences de Grignon comparativement du maïs fourrage et des pommes de terre sur des parcelles, où l'on a répandu de l'azotate de soude ou du sulfate d'ammoniaque, additionnés ou non de superphosphates; on a en outre comparé les récoltes obtenues sans engrais ou sous l'influence des superphosphates employés seuls.

Pour les quatre années 1875, 1876, 1877 et 1878, on a obtenu les résultats suivants, fondus en une seule moyenne pour éliminer l'influence des saisons.

Engrais employés.	Récoltes à l'hectare. Maïs fourrage pesé vert. Kilos.	Pommes de terre. Hectol.
Azotate de soude seul.....	65.356	276.0
— de soude et superphosphate..	65.816	311.0
Sulfate d'ammoniaque seul.....	60.035	290.5
— d'ammoniaque et superphosphate.....	60.216	278.0
Sans engrais.....	58.300	278.0
Engrais phosphatés seuls.....	58.100	276.0

Sur les betteraves en 1879, les résultats ont été analogues :

	Récoltes à l'hectare.	
	Betteraves Vilmorin.	Betteraves à collet rose.
Azotate de soude seul.....	37.500	57.500
— de soude et superphosphate.	37.500	55.100
Sulfate d'ammoniaque seul.....	28.000	52.000
— d'ammoniaque et superphosphate.....	30.000	46.000
Sans engrais.....	30.500	46.000
Superphosphate.....	28.000	39.000

Il est manifeste que les superphosphates n'exercent sur notre sol de Grignon aucun effet utile; d'où il faut conclure que notre terre est suffisamment riche en acide phosphorique pour qu'une nouvelle addition de cette matière soit inutile.

Or, en procédant au dosage de l'acide phosphorique dans diverses parcelles on a trouvé pour moyenne de 24 dosages effectués sur les parcelles cultivées en maïs et en pommes de terre $1^{gr},27$ d'acide phosphorique par kilogramme. Il eût été cependant bien imprudent de conclure de ces dosages et du peu d'effet des phosphates sur le sol du champ d'expériences, que $1^{gr},2$ d'acide phosphorique par kilogramme sont suffisants pour subvenir aux récoltes et qu'il est inutile d'employer les superphosphates sur un sol qui présente cette teneur. En effet, MM. Corenwinder et Contamine ont trouvé qu'une terre de Houdain, sur laquelle les superphosphates augmentaient la récolte, renfermaient précisément $1^{gr},2$ d'acide phosphorique par kilogramme. Il est donc manifeste que l'*état* de l'acide phosphorique n'est pas le même dans tous les sols; qu'il peut y être plus ou moins assimilable et il importe de chercher à définir cet état d'assimilabilité, puisque nous en déduirons la conduite à tenir dans l'acquisition des engrais phosphatés.

§ 129. — Sur l'état de l'acide phosphorique dans la terre arable.

L'acide phosphorique contenu dans la terre arable y est engagé dans des combinaisons insolubles, les eaux de drainage n'en renferment que des traces. Il ne pourra donc être assimilé qu'après avoir été amené à l'état soluble, soit par les réactions qui se produiront dans le sol, soit par l'action même des racines dont nous avons indiqué déjà l'action dissolvante (§ 81), et pour prévoir le degré d'assimilabilité qu'il est susceptible de présenter, il convient de chercher à quelles bases l'acide est uni, sous quelles formes il existe dans le sol.

Formes sous lesquelles l'acide phosphorique existe dans le sol. — L'acide phosphorique est très habituellement combiné à la chaux; les apatites, les phosphorites, les os, le noir animal renferment du phosphate de chaux; dans les nodules l'acide phosphorique est uni à la fois à de la chaux et à de l'oxyde de fer. Quand on répand sur le sol des superphosphates qui renferment de l'acide phosphorique soluble, celui-ci ne persiste pas longtemps sous cette forme, il est saturé par le calcaire du sol et passe encore à l'état de phosphate de chaux.

Toutes ces combinaisons d'acide phosphorique et de chaux sont bien loin d'être identiques; si toutes sont solubles dans les acides minéraux agissant à l'ébullition, elles se dissolvent très inégalement dans les acides faibles, comme les acides acétique ou carbonique qu'on peut supposer prendre naissance dans le sol ou être sécrétés par les racines, et on conçoit que pour arriver à classer les phosphates d'après leur assimilabilité, on ait pensé à employer ces acides affaiblis qui donnent, peut-être, une indication sur la façon dont les phosphates seront attaqués dans le sol, ou dissous par les sucs des racines.

En employant cette méthode de recherche j'ai trouvé que les terres du champ d'expériences de Grignon, qui ne bénéficient pas de l'emploi des superphosphates, abandonnent à l'acide acétique agissant à l'ébullition une quantité notable d'acide phosphorique. On en jugera par le tableau suivant :

Acide phosphorique contenu dans un kilogr. des sols des diverses parcelles du champ d'expériences (1879) (1).

FUMURES DISTRIBUÉES.	PARCELLES CULTIVÉES EN MAÏS.		PARCELLES CULTIVÉES EN POMMES DE TERRE.	
	ACIDE PHOSPHORIQUE		ACIDE PHOSPHORIQUE	
	total.	assimilable.	total.	assimilable.
	gr.	gr.	gr.	gr.
80.000 k. de fumier de ferme, 1000 k. de superphosphates en 1875-76-77, rien en 1878	1.33	0.481	1.60	0.325
1200 k. de nitrate de soude en 1875-76-77, rien en 1878	1.11	0.260	1.35	0.182
1200 k. de sulfate d'ammoniaque en 1875-76-77, rien en 1878	1.19	0.338	1.27	0.221
400 k. de superphosphate de chaux en 1875-76-77-78	1.53	0.247	1.92	0.221
Toujours sans engrais	1.25	0.299	1.74	0.299

(1) *Ann. agron.*, t. V, p. 161.

Pour savoir si la conclusion qu'on pouvait tirer des analyses précédentes était susceptible d'être généralisée, pour savoir si :

1° Un grand nombre de terres renfermaient de l'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique agissant à l'ébullition ;

2° Si les terres renfermant une fraction de leur acide total, à l'état soluble dans l'acide acétique, ne bénéficiaient pas des engrais phosphatés ; j'ai demandé à quelques-uns de mes anciens élèves de l'École de Grignon, de m'adresser des échantillons des sols qu'ils cultivent et d'y joindre des indications au sujet de l'emploi des superphosphates; les résultats obtenus par l'analyse, les renseignements culturaux sont réunis dans le tableau ci-joint; on verra qu'au dosage de l'acide phosphorique par l'acide acétique, on a joint celui de l'acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque, réactif souvent employé par les analystes pour doser l'acide rétrogradé, dit assimilable, dans les superphosphates.

Acide phosphorique total et assimilable dans divers sols.

DÉSIGNATION DES TERRES.	ACIDE PHOSPHORIQUE EXTRAIT D'UN KILOGR. DE TERRE					OBSERVATIONS CULTURALES.
	par l'acide azotique.		par l'acide acétique.		par le citrate d'ammoniaque.	
Dép. de l'Yonne, envoyé par M. Desbarres	1.09	1.03	0.313	0.302	0.403	
Dép. de la Creuse, envoyé par M. Deguerrel	1.99	2.04	0.750	0.760	0.448	On emploie les phosphates.
Dép. de Meurthe-et-Mos., envoyé par M. Crouvezier	»	»	0.875	0.705	0.492	On n'emploie pas de phosphates.
Dép. de Haute-Saône, envoyé par M. Mulot....	1.40	1.40	0.644	0.649	0.358	On n'emploie pas de phosphates.
Dép. de la Somme, envoyé par M. Navarre.....	0.82	0.78	0.250	0.210	0.132	On n'emploie pas de phosphates.
Dép. de Seine-et-Oise, envoyé par M. Petit.....	1.67	1.70	0.616	0.627	0.280	On emploie les phosphates.
Dép. de l'Indre, envoyé par M. Pignot.....	1.88		0.672	0.672	0.380	On n'emploie pas de phosphates.
Égypte, Limon du Nil, envoyé par M. Pinto.....	2.30		0.649	0.638	»	On n'emploie pas de phosphates.

Il est remarquable que dans toutes ces terres une fraction importante de l'acide phosphorique est soluble dans l'acide acétique et dans le citrate d'ammoniaque, dans toutes il y a donc de l'acide phosphorique assimilable; en général la proportion dissoute par l'acide acétique est plus forte que celle qui est solubilisée par le citrate d'ammoniaque; on voit en outre que les cultivateurs sont encore mal fixés sur les cas où il convient, ou non, d'employer les superphosphates; la terre de la Somme adressée par M. Navarre provient de Santerre, elle était accompagnée de cette note : « la terre ne reçoit que du fumier de ferme à la dose de 65 à 70.000 kilos pour betteraves, au commencement de l'assolement; les phosphates ne produisent aucune augmentation de récoltes; » et on conçoit qu'il en soit ainsi, le fumier renfermant 3 kilos d'acide phosphorique assimilable par tonne apporte environ 200 k. d'acide phosphorique suffisant pour soutenir plusieurs récoltes.

La terre de Seine-et-Oise envoyée par M. Petit est beaucoup plus riche que la précédente, on donne aux betteraves du fumier, puis au blé qui suit : du nitrate de soude et du superphosphate à la dose de 150 kilos, mais on ne dit pas si on a remarqué que sa suppression amenât une diminution sensible des récoltes.

Le dosage exécuté sur le limon du Nil, dont la fertilité est proverbiale, est particulièrement intéressant; on le cultive sans aucune addition, et s'il n'avait pas donné de phosphate soluble dans l'acide acétique, il est manifeste qu'on aurait pu en conclure que ce mode d'investigation ne donne aucun renseignement utile sur l'état d'assimilabilité de l'acide phosphorique; on a trouvé, au contraire, une quantité notable d'acide phosphorique attaquable par l'acide acétique, l'épreuve a donc été favorable à cette méthode. Il en a été de même dans les cultures expérimentales établies dans les domaines de la sucrerie de Bourdon, situées dans la Limagne d'Auvergne; on a trouvé que parfois la moitié, souvent le tiers de l'acide phosphorique total se trouve à l'état soluble dans l'acide acétique : les superphosphates n'y exercent aucune action sensible.

Ces dosages conduisent à un premier rapprochement intéressant; ils démontrent que les superphosphates ne produisent pas d'effet sur un sol qui renferme une partie notable de son acide phosphorique à un état tel, qu'il est partiellement soluble dans l'acide acétique.

Les essais précédents montrent donc que les phosphates solubles dans l'acide acétique sont en effet assimilables; on peut fortifier cette conclusion, en cherchant si une terre qui ne renferme pas

d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique bénéficie de l'emploi des superphosphates. c'est-à-dire est trop pauvre en

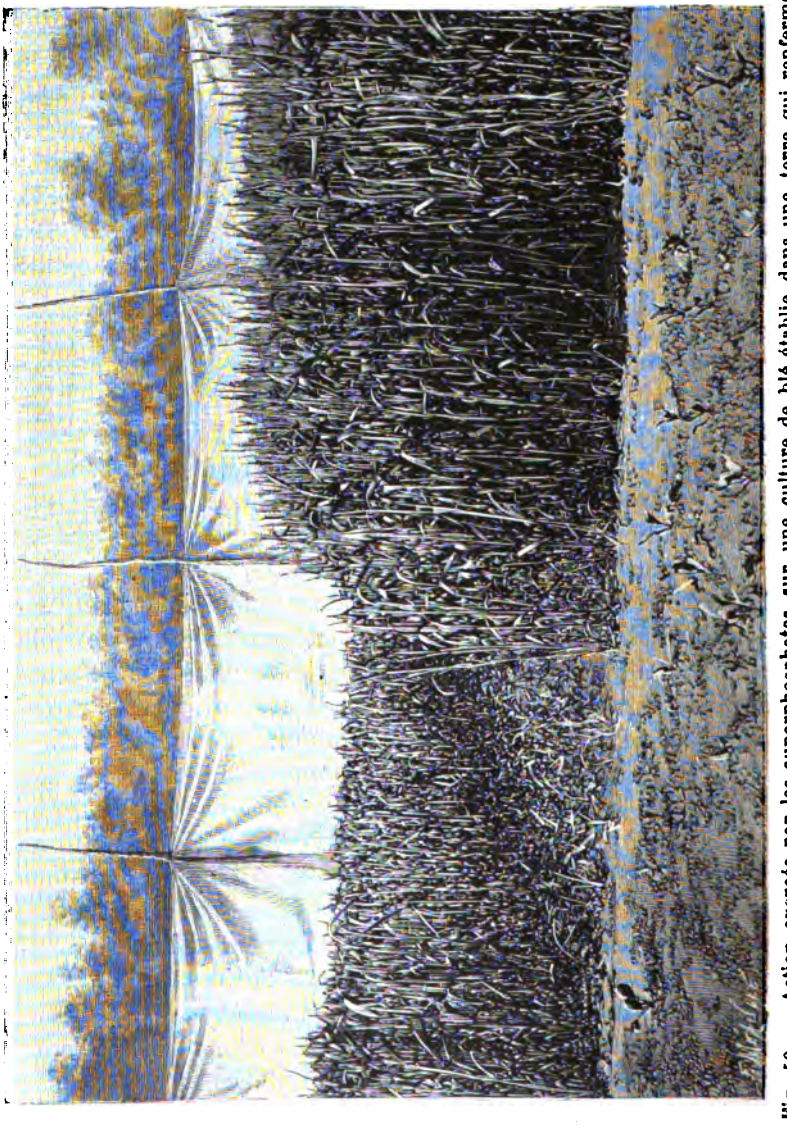


Fig. 50. — Action exercée par les superphosphates sur une culture de blé établie dans une terre qui renferme 1 gramme d'acide phosphorique total et des traces seulement d'acide soluble dans l'acide acétique. — La partie phosphatée est à droite (d'après une photographie).

phosphates assimilables pour soutenir les récoltes sans un secours extérieur.

Or, c'est précisément ce que j'ai pu observer à Grignon, pendant l'été de 1890; une parcelle restée sans engrais depuis 1875 a reçu

en 1889 du superphosphate, une autre également sans engrais depuis 1875 reçut à la même époque, comme la précédente, la valeur de 200 kilos de superphosphates à l'hectare et de 200 kilos de chlorure de potassium; sans addition ce sol donna la valeur de 8^{qm} de grains à l'hectare, avec superphosphates 24^{qm}, avec superphosphate et potasse 26^{qm}. L'action exercée par les superphosphates a été si marquée que nous avons pris une photographie de cette parcelle; elle est reproduite dans la figure ci-contre. Or, et nous ne saurions trop insister sur ce point, à l'analyse cette terre renfermait environ 1 gramme d'acide phosphorique total au kilo, mais des quantités indosables d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique.

En résumé, on voit que l'acide phosphorique contenu dans le sol s'y trouve à deux états différents; une fraction n'est soluble que dans les acides minéraux, l'autre au contraire est soluble à la fois dans les acides minéraux et dans l'acide acétique, et cette fraction paraît assimilable.

§ 130. — Changements d'état de l'acide phosphorique du sol.

Les matières qui constituent la terre arable réagissent constamment les unes sur les autres, et les changements d'état y sont fréquents; ils sont particulièrement sensibles dans les substances introduites comme engrais.

J'ai déjà indiqué plus haut (page 150) la curieuse expérience dans laquelle j'ai constaté la mort, par pléthore de *chlorure de potassium*, de haricots arrosés avec des dissolutions de sel marin, ce qui implique que le chlorure de sodium ajouté avait réagi sur le carbonate de potasse du sol et s'était transformé en chlorure de sodium.

Les betteraves, les maïs, les sorghos, fumés au nitrate de soude renferment du nitrate de potasse; les eaux de drainage des terres qui ont reçu du nitrate de soude renferment surtout du nitrate de chaux,... les phosphates n'échappent pas à ces modifications.

Elles ont été signalées, il y a déjà longtemps, par le baron P. Thenard : ayant examiné une terre qui avait reçu l'année précédente une fumure de noir animal, il fut très frappé de n'y plus retrouver le phosphate de chaux que le noir y avait introduit, mais bien des phosphates de fer et d'alumine.

J'ai eu moi-même occasion d'observer le même fait pour une

terre de Sologne, qui avait reçu du noir animal, les acides minéraux permettaient bien d'en extraire de l'acide phosphorique; mais l'acide acétique qui dissout les phosphates de chaux ou de magnésie, sans attaquer les phosphates de sesquioxyde, était sans action; le phosphate de chaux du noir employé avait donc été métamorphosé en phosphate de fer ou d'alumine.

Cette transformation est facile à réaliser dans le laboratoire; qu'à l'imitation du baron P. Thenard, on place dans un appareil à eau de Seltz une petite quantité de phosphate de chaux, et une cinquantaine de grammes de terre, puis, qu'après quelques jours on recueille le liquide, on n'y trouvera plus d'acide phosphorique dissous. Le phosphate de chaux est cependant soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique, mais cette dissolution réagit sur les sesquioxydes gélatineux du sol qui lui arrachent son acide phosphorique.

L'expérience réussit également en remplaçant la terre par de l'alumine ou de l'oxyde de fer. Il est vraisemblable qu'une action de cet ordre s'est produite au champ d'expériences de Grignon, dans les parcelles cultivées sans engrais depuis 1875. — En 1879, on trouvait encore par kilog. $0^{gr},300$ environ d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique; en 1889, on ne trouve plus que des traces de cet acide. Or, les récoltes assez médiocres obtenues pendant ces dix années n'ont pas pris plus de 400 kilos d'acide phosphorique et la diminution est de $0^{kil},3 \times 4\,000$ ou 1 200 kilos, qui ont dû passer de l'état assimilable à un état où ils n'étaient plus attaquables par les racines.

Quand l'acide phosphorique engagé en combinaison avec les sesquioxydes est devenu insoluble dans l'acide acétique, il n'est pas cependant toujours perdu pour la végétation, car ces phosphates de sesquioxyde cèdent facilement leur acide phosphorique aux carbonates du sol.

Deux grammes de phosphate de sesquioxyde de fer ont été placés dans l'eau avec 4 grammes de carbonate de potasse pur; on agita à différentes reprises pendant quarante heures, en filtrant j'ai trouvé $0^{gr},158$ d'acide phosphorique en dissolution dans l'eau. Si l'on emploie la même quantité de phosphate de fer et qu'on y ajoute 4 grammes de carbonate de chaux pur précipité, puis qu'on immerge le tout dans l'eau de Seltz, on obtient $0^{gr},109$ d'acide phosphorique en dissolution (1).

(1) Dehérain, *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860.

L'état de l'acide phosphorique contenu dans le sol est donc essentiellement variable, et bien qu'il faille compléter les indications que fournit l'étude du sol au laboratoire, par des expériences de cultures soutenues ou non par des superphosphates, pour arriver à savoir s'il renferme une quantité d'acide phosphorique assimilable suffisante pour fournir à l'alimentation des récoltes, les dosages d'acide phosphorique total et soluble dans l'acide acétique ou dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal donnent déjà des indications précieuses.

Nous aurons au reste occasion, dans le chapitre où nous traiterons des engrais phosphatés, de préciser les conditions dans lesquelles ils ont chance de réussir.

POTASSE DES TERRES ARABLES.

§ 131. — Quantités de potasse contenues dans les terres arables.

Nous avons consacré dans la première partie de cet ouvrage plusieurs paragraphes à l'étude de la potasse ; nous savons : 1° qu'elle existe dans les cendres de tous les végétaux ; 2° qu'elle y remplit une fonction importante, car les végétaux n'atteignent leur développement complet qu'autant que leurs racines en trouvent à leur portée une quantité suffisante.

La recherche de la potasse dans le sol, la détermination de l'état dans lequel elle s'y rencontre, présentent d'autant plus d'intérêt, que la plus grande partie de la potasse employée dans les arts, provenant des cendres des végétaux, par suite, du sol forestier ou même des terres arables, il est à craindre que ces sols ne se trouvent très appauvris d'un élément qu'on enlève sans cesse, sans se préoccuper habituellement de sa restitution.

Nous avons indiqué dans le chapitre précédent la méthode employée par MM. Berthelot et André pour déterminer la quantité de potasse totale contenue dans la terre arable, et qui consiste dans une attaque par le fluorhydrate d'ammoniaque complétée par l'action des acides sulfurique et chlorhydrique.

En appliquant ce procédé MM. Berthelot et André ont trouvé pour la terre qu'ils ont analysée : $8^{gr},92$ par kilo, ou pour la surface d'un hectare de 4000 tonnes 35680 kilos. Une terre du champ d'expériences de Grignon (parcelle 33) a donné au kilogramme : $8^{gr},1$ de potasse (KO), c'est donc 32.400 kilos à l'hectare.

Ce sont là des quantités énormes et on peut en déduire que les

terres arables renferment habituellement des réserves de potasse de longtemps inépuisables. C'est au reste à cette même conclusion qu'étaient arrivés les agronomes allemands en attaquant la terre par l'acide fluorhydrique, ils avaient trouvé pour un hectare :

Quantité de potasse totale contenue dans un hectare de différentes terres.

	Kilog. de potasse à l'hectare.
Terre de Dalheim	76.760
— de Burgewegeleben	51.480
— de Wollup	63.000
— de Burgbornheim	45.800
— de Beesdau	68.080
— de Cartlow	40.760

Quelle est la fraction de ce puissant stock de potasse qui est disponible pour la végétation? Telle est la notion qu'il faudrait acquérir pour nous décider à répandre des engrais de potasse ou au contraire à nous abstenir; car, ainsi que nous l'avons dit déjà, pour l'azote et l'acide phosphorique, l'existence dans le sol d'un stock considérable de matières organiques azotées ou de phosphates est bien loin de rendre inutile l'emploi des engrais azotés ou des superphosphates.

Nous avons vu dans le chapitre précédent que beaucoup d'agronomes à la suite de M. Paul de Gasparin considèrent comme prochainement utilisable la *potasse dite attaquable*, c'est-à-dire susceptible de se dissoudre dans l'eau régale agissant à l'ébullition.

La potasse ainsi dosée provient sans doute de plusieurs sources différentes : 1° elle peut être engagée en combinaison avec des acides formant des sels mal retenus par les propriétés absorbantes de la terre, tels seraient le sulfate et le chlorure de potassium.

2° Elle peut être unie à l'acide carbonique formant encore un sel soluble, très bien retenu par la terre, mais très attaquable par l'eau régale.

3° Elle peut, enfin, faire partie de silicates déjà altérés, ayant perdu la plus grande partie de leur silice, et qui sont contenus dans les argiles ; il est vraisemblable que ces silicates ont quelque analogie avec ceux qui constituent ces verres, fabriqués avec excès d'alcali à basse température, qui se dévitrifient aisément sous l'influence des agents atmosphériques.

La potasse appartenant à ces diverses combinaisons a été dosée par M. de Gasparin dans quarante sols différents ; dans huit d'entre

eux, la potasse trouvée est inférieure à 1 millième, elle représenterait donc moins de 4000 kilos à l'hectare ; dans dix, elle oscille entre 1 et 2 millièmes, sa proportion est donc comprise entre 4000 et 8000 kilos à l'hectare; c'est dans cette catégorie que se trouveraient les terres du champ d'expériences de Grignon donnant pour les terres en bon état de fumure : 1^{gr},17 par kilo.

Dans les analyses de M. de Gasparin, 14 sols renferment entre 2 et 3 millièmes de potasse attaquable, c'est-à-dire de 8000 à 12000 kilos à l'hectare, enfin les 8 derniers contiennent 3, 4, 5, 6, 9 millièmes et le plus riche 34 millièmes de potasse.

M. de Gasparin tire, des analyses précédentes, les conclusions suivantes: «... On tend a développer l'emploi des engrais minéraux. Or il est indispensable pour le cultivateur de savoir s'il a besoin de ce qu'on lui propose. La consommation de potasse par l'enlèvement des récoltes, dans un terrain soumis à une culture riche, est en moyenne de 50 kilos annuellement. Or, un sol qui donnerait à l'analyse en potasse attaquable, dans l'épaisseur de la sole cultivée, cent fois cette quantité, c'est-à-dire la consommation de cent ans, sans tenir compte des restitutions par les engrais, serait évidemment au-dessus du besoin, et le propriétaire qui dans de pareilles conditions ferait une dépense de quelque importance pour enrichir ses engrais de sels de potasse, le ferait en pure perte. Or, il suffit du dosage de 0^{gr},125 sur 100 grammes pour satisfaire à cette condition. »

Il est manifeste que M. de Gasparin estimant qu'une terre doit renfermer cent fois la quantité de potasse qu'il suppose être nécessaire chaque année aux récoltes ne considère pas comme assimilable toute la potasse dissoute par l'eau régale, et en effet, bien que les sucs acides des racines soient suffisants pour corroder le marbre on ne peut pas leur attribuer une action dissolvante analogue à celle qu'exerce l'eau régale à l'ébullition, et pour apprécier l'état dans lequel se trouve la potasse dans le sol, nous devons avoir recours à des réactifs moins énergiques.

Un grand nombre de combinaisons potassiques étant essentiellement solubles, il est naturel d'étudier d'abord l'action de l'eau.

§ 132. — État de la potasse dans la terre arable.

Action de l'eau. — Nous avons dit que la potasse dite attaquable existait probablement dans le sol à divers états, et qu'une

fraction importante était retenue par les propriétés absorbantes du sol (voyez le chapitre suivant), et on conçoit qu'il s'établisse entre ces propriétés absorbantes et l'action dissolvante de l'eau un équilibre, variable avec les poids des deux substances réagissantes. Cherchons donc les quantités de potasse enlevées au sol par l'eau agissant en proportions croissantes.

Potasse dans les eaux de drainage. — Les terres du champ d'expériences de Grignon renferment, avons-nous dit, $1^{gr},17$ de potasse attaquable ; pendant l'année juin 1889 à juin 1890, ces terres ont laissé couler à l'hectare 1890 mètres cubes d'eau de drainage, 1 mètre cube de ces eaux a donné $4^{gr},96$ de potasse ; l'eau de drainage aurait donc contenu pendant l'année : 9 kilos 374 de potasse, la terre d'un hectare étant évaluée à 4000 tonnes renfermerait $4000 \times 1,17 = 4680$ kilos de potasse attaquable dont l'eau de drainage n'aurait enlevé que 2 millièmes.

Bien que l'eau de drainage n'enlève qu'une minime fraction de la potasse attaquable, cette fraction varie cependant avec le degré de fertilité du sol ; ainsi, on a dosé dans les parcelles épuisées par la culture sans engrais $0^{gr},99$ et $0^{gr},91$ de potasse attaquable au kilo de terre, c'est-à-dire près d'un millième, la proportion n'est donc pas très différente de celle qu'on a constatée dans la bonne terre et cependant l'eau de drainage qui s'écoule de ces terres épuisées est beaucoup plus pauvre en potasse que celle qui provient des terres en bon état de fumure ; elle renferme seulement $2^{gr},41$ au même cube, c'est-à-dire qu'elle représente seulement 5/10000 de la potasse attaquable. La fraction dissoute est plus faible que pour la terre en bon état de fumure, et comme les dosages ont montré que ces terres épuisées renferment beaucoup moins d'humus que les terres fumées, il en faut conclure que ce n'est pas seulement l'humus qui retient la potasse, mais aussi les colloïdes argileux.

Action de l'eau employée en excès. — Quand la terre, au lieu d'être en contact avec une faible quantité d'eau, comme dans les conditions naturelles examinées plus haut, se trouve en présence d'un très grand excès de liquide, que par exemple 200 grammes de terre sont épuisés par un litre, dont l'action se prolonge pendant vingt-quatre heures, l'action dissolvante de l'eau est bien plus énergique, on trouve en effet :

	Potasse enlevée au sol par l'eau employée dans la proportion de 5 à 1	
	par kilogr.	à l'hectare.
Terre en bon état de fumure.....	0gr,019	76 kilos.
— épuisée.....	0 ,009	36 —

Ainsi un grand excès d'eau enlèverait au sol des quantités de potasse notables, supérieures pour la terre fertile à celles que M. de Gasparin reconnaissait suffisantes pour rendre inutile l'emploi des engrais de potasse.

Si on exagère encore la proportion d'eau, l'effet devient naturellement plus sensible. Les deux terres précédentes ont reçu à deux reprises différentes 10 litres d'eau par kilogramme ou 20 litres en tout, on a trouvé :

	Potasse enlevée au sol par l'eau employée dans la proportion de 20 à 1	
	par kilogr.	à l'hectare.
Terre en bon état de fertilité.....	0gr,100	400 kilos.
— épuisée.....	0 ,053	212 —

Ces expériences sont tout à fait analogues à celles qu'ont exécutées, il y a déjà quelques années, MM. Berthelot et André, en épuisant une terre par l'action successive d'un litre d'eau pour 100 grammes agissant à trois reprises différentes, ils ont trouvé :

	Potasse enlevée à la terre	
	par kilogr.	par hectare.
1er lavage. 10 d'eau pour 1 de terre..	0gr,067	
2e — 10 — 1 — ..	0 ,049	
3e — 10 — 1 — ..	0 ,027	
En tout, 30 — 1 — ..	0gr,143	572 kilos.

ou plus de 10 fois ce que M. de Gasparin juge nécessaire à une bonne récolte.

Un premier point est donc acquis par ces expériences; la terre renferme une grande quantité de potasse *soluble*, mais retenue avec une énergie telle, qu'il faut des quantités d'eau énormes pour la dissoudre.

Le fait établi par ces essais est-il particulier aux terres étudiées ou bien présente-t-il un caractère général ?

Pour le savoir nous avons étendu les essais à des terres très différentes des précédentes.

Dans les expériences suivantes nous avons employé l'eau dans la

proportion non plus de 30 à 1, comme dans l'essai de MM. Berthelot et André, mais simplement de 5 à 1 et nous avons dosé :

	Potasse enlevée au sol	
	par kilogr.	par hectare.
Terre de Wardrecques (Pas-de-Calais)...	0gr,027	88 kilos.
— de Palbost (Limagne, Puy-de-Dôme).	0 ,068	272 —

Le fait paraît donc général : quand la terre est pendant quelques heures en contact avec une grande masse d'eau, elle lui cède une quantité de potasse considérable, il est bien à remarquer cependant que l'eau n'enlève jamais toute la potasse *soluble* que le sol renferme.

Un kilogramme de terre épuisée est mis en digestion dans 5 litres d'eau, d'autre part un autre kilogramme de la même terre additionné de 0gr,050 de chlorure de potassium correspondant à à 0gr,031 de potasse est mis également en digestion avec 5 litres d'eau ; si la potasse du chlorure de potassium ajouté se dissout intégralement dans l'eau, nous trouverons dans l'eau du second lot 0gr,031 de plus que dans le premier ; or l'eau a entraîné 0gr,0075 de potasse dans la terre normale et 0gr,0096 dans la terre additionnée, par conséquent, elle n'a pris que 0gr,002 sur les 0gr,031 qui ont été introduits.

Ainsi les propriétés absorbantes du sol sont suffisantes pour retenir une très forte fraction de la potasse introduite ; on en peut conclure que la quantité de potasse soluble dans l'eau que la terre renferme est énorme, et que même quand elle agit en grande quantité l'eau est un médiocre dissolvant. Pour s'assurer que la potasse est bien en effet soluble, mais qu'elle est simplement retenue par les propriétés absorbantes, il convient de modifier le dissolvant. Or j'ai reconnu depuis bien des années (1863) que les sulfates sont moins bien retenus que les carbonates, d'où il résulte que si au lieu d'attaquer par l'eau la terre normale, on la met en contact avec une dissolution d'un sulfate, cette dissolution devra extraire de la terre une plus grande quantité de potasse que l'eau pure ; c'est bien ce qui a lieu en effet, ainsi que le montrent les essais suivants :

Potasse enlevée à 1 kilogr. de terre par 5 litres d'eau pure ou additionnée.

	Terre 33. Régulièrement fumée		*Terre* 37. Épuisée par la culture sans engrais	
	par kilogr.	par hectare.	par kilogr.	par hectare.
Eau distillée.....	0gr,019	76 kil.	0gr,009	36 kil.
Eau + 6gr,5 de sulfate de chaux.....	0 ,071	284 —	0 ,051	204 —
Eau + 25 gr. de sulfate de magnésie.....	0 ,129	516 —	0 ,100	400 —

Nous pouvons conclure avec certitude de ces essais qu'une fraction importante de la potasse contenue dans la terre arable s'y trouve à l'état *soluble* dans l'eau, mais que cette potasse *soluble* retenue par les propriétés absorbantes n'est habituellement *dissoute* qu'en très minime proportion. Dans quelle mesure la puissance dissolvante des racines peut-elle vaincre les propriétés absorbantes du sol, c'est malheureusement ce qu'il nous est impossible de décider actuellement, nous ne pouvons par suite résoudre la question qui intéresse la pratique agricole, à savoir : convient-il ou non d'acquérir des engrais de potasse? Les essais de laboratoire ne suffisant pas à nous éclairer, il convient de les compléter par les résultats que fournissent les cultures expérimentales, nous en donnerons des exemples au chapitre : *Engrais de potasse*.

§ 133. — Présence du chlore.

Nous avons vu dans la première partie de cet ouvrage que le chlorure de potassium exerce sur la migration des principes immédiats une influence marquée et habituellement, quand on trouve quelque efficacité aux sels de potasse, cette efficacité est plus marquée pour le chlorure que pour le sulfate; dans quelques exploitations on a jugé utile d'employer comme engrais le sel marin, qui, nous l'avons vu, se métamorphose aisément dans le sol en chlorure de potassium; il est donc vraisemblable que la présence du chlore dans le sol est nécessaire. Il est rare qu'il fasse défaut, les eaux de pluie surtout dans le voisinage de la mer en apportent des quantités notables, MM. Lawes, Gilbert et Warington constatent dans l'eau de pluie de Rothamsted 3gr,1 par mètre cube; déversés sur la surface d'un hectare, les 7000 mètres cubes d'eau contiendraient donc environ 28 kilogrammes de chlore, ce qui représente plus que ne consomme une récolte moyenne.

Dans beaucoup d'exploitations, au reste, on donne au bétail du

sel à discrétion, de telle sorte que le fumier renferme des quantités notables de chlorure de sodium ; comme ce sel se transforme aisément, par double échange avec le carbonate de potasse, en chlorure de potassium assimilable, les sols qui reçoivent le fumier provenant d'animaux qui ont du sel dans leur ration manquent rarement de chlore ; il est à remarquer cependant que le chlorure de sodium se trouve dans les eaux de drainage et que, par conséquent, sa déperdition est considérable, aussi les cultivateurs qui n'emploient que peu de fumier, qui fument leurs terres avec des tourteaux ou des engrais chimiques, trouvent-ils souvent des avantages marqués à employer comme engrais le chlorure de potassium.

§ 134. — Présence dans le sol de la chaux, de la silice, de l'oxyde de fer.

Nous aurons occasion dans la troisième partie de cet ouvrage de traiter d'une façon complète de l'addition aux terres arables des amendements calcaires, nous n'avons donc pas à nous en occuper ici.

Le sable existe dans tous les sols, et bien que ce ne soit pas sous cette forme, mais sous celle de silice gélatineuse, soluble dans l'eau aiguisée d'acide carbonique, que cette matière soit assimilée, elle ne paraît jamais manquer dans le sol ; on a cru à une certaine époque que l'addition des silicates aisément attaquables pourrait avoir une influence heureuse sur la rigidité de la paille des céréales et sa résistance à la verse : en y regardant de plus près, on a reconnu que la silice se fixait davantage sur les feuilles que sur les tiges, et n'exerçait par conséquent aucune influence sur la rigidité des pailles, et qu'en outre la verse était due à des causes absolument différentes de l'abondance de la silice.

Enfin si des traces d'oxyde de fer paraissent nécessaires à la constitution de la matière verte des plantes, il est rare que le sol en soit privé, et que l'emploi des sels de fer soit nécessaire pour fournir aux végétaux cette substance, très abondante dans les terres qui présentent une coloration rouge ou brune.

§ 135. — Compositions physiques et chimiques d'un certain nombre de sols.

Nous avons déjà donné plus haut la teneur en azote et en acide phosphorique de certains sols, nous ajouterons ici la composition physique et chimique de quelques sols cultivés.

Composition physique et chimique d'un kilogr. de terre de diverses provenances.

ORIGINE DES TERRES.	SABLE GROSSIER.	SABLE FIN.	CALCAIRE.	ARGILE.	HUMUS.	AZOTE.	ACIDE PHOSPHORIQUE		ANALYSTES
							total.	soluble dans l'acide acétique.	
Terre du Cantal (terrain primitif)...	540.2	405.8	15.7	4.0	30.0	0.91	0.44	»	Pagès (élève de Grignon).
— de Loison (Pas-de-Calais), M. Masclef.....	384.0	304 0	52.0	23.0	28.8	1.80	1.17	0.22	Lefebvre (élève de Grignon) (1).
— de Ferrières (Seine-et-Marne).	38.0	863.0	2.0	26.0	40.0	»	»	»	Fouquereau de Roberville (élève de Grignon).
— de Climesti, district de Deamtz (Roumanie).....	368.0	560.0	3.5	56.0	16.3	1.00	2.00	»	
— de la Limagne, Marmilhat....	252.9	437.4	121.1	136.7	49.2	1.96	1.45	0.38	Hébert, chimiste à Grignon
— — Palbost.....	324.8	455.6	60.9	103.9	42.3	2.60	2.36	0.38	Id. Id.
— de la Daguenière (canton du Pont-de-Cé, Maine-et-Loire).	423.0	455.0	15.0	86.0	»	2.41	3.6	»	Bonnefont (élève de Grignon).
— de St-Jean-les-Rue, près St-Valery-sur-Somme (Somme)...	710.2		196.0	37.7	»	1.24	1.12	»	Devraigne (Id.)

(1) Cette terre est d'une remarquable fertilité, M. Masclef en a obtenu, en 1888, 50 q. m. de blé à l'hectare.

CHAPITRE V

PROPRIÉTÉS ABSORBANTES DES TERRES ARABLES.

§ 136. — Démonstration expérimentale.

Toutes les personnes qui ont suivi les cours de chimie générale savent que certains corps poreux ont la propriété de retenir les principes avec lesquels on les met en contact : le noir animal, par exemple, obtenu par la calcination des os, se charge avec la plus grande facilité des matières colorantes, et c'est une expérience vulgaire que d'agiter du vin rouge avec ce charbon pulvérisé, de jeter le tout sur un filtre, pour voir couler au-dessous de l'entonnoir une liqueur absolument incolore : toute la matière colorante a été retenue par le charbon; on sait encore que les sucreries employaient naguère des quantités considérables de noir d'os pour décolorer les sirops de sucre. Or, il existe dans la terre arable une propriété absorbante analogue à celle que possède le noir animal, et il est facile de répéter dans un cours l'expérience fondamentale due à M. Huxtable. Dès 1848, cet agronome filtra du purin sur de la terre arable placée dans un entonnoir, et reconnut qu'après cette filtration, le liquide passait presque incolore et dépouillé de toute odeur; on en pouvait conclure que non seulement la terre enlevait au purin sa matière colorante, mais aussi qu'elle se chargeait des composés ammoniacaux auxquels le purin doit son odeur, comme le charbon de bois se charge des gaz à odeur fétide que renferment les eaux croupies.

L'absorption des sels ammoniacaux par la terre arable est encore facile à démontrer dans un cours ; il suffit, pour la rendre manifeste, d'agiter pendant quelque temps de la terre avec une dissolution étendue de carbonate d'ammoniaque, qui a été préalablement titrée ; après filtration, on reconnaît que le titre a été singulièrement abaissé, c'est-à-dire que la quantité d'alcali contenue dans chaque centimètre cube a beaucoup diminué.

Aux travaux de M. Huxtable sur les propriétés absorbantes de la terre arable pour les principes solubles du purin, se joignirent bientôt ceux de M. Thompson, puis successivement ceux de M. Way et de M. Brustlein, dont nous devons maintenant nous occuper.

Quantités d'ammoniaque absorbées par la terre arable. — M. Way a constaté dans le travail important qu'il a consacré à l'étude de

cette question dans le *Journal de la Société d'agriculture d'Angleterre*, en 1850, que la quantité d'ammoniaque absorbée par une même terre était à peu près constante, quand la dissolution présentait toujours la même concentration, mais que cette quantité variait singulièrement quand la concentration variait elle-même, ou quand on opérait sur des terres différentes.

M. Brustlein (1) a démontré les faits précédents par une série de déterminations méthodiques. Ses essais portèrent sur trois terres d'Alsace, différant entre elles par leur constitution physique : la première, prise à Bechelbronn, était une argile ténue, compacte, assez riche en calcaire et durcissant beaucoup par la dessiccation; la deuxième, provenant de Mittelhausbergen, plus riche en carbonate de chaux, offrait peu de plasticité; la troisième enfin, terre du Liebfrauenberg, se composait surtout d'un sable quartzeux, riche en débris organiques.

Malgré l'identité des conditions d'un grand nombre d'essais, il se produisit des écarts de 10 à 15 p. 100 sur les quantités d'alcali absorbées. Le tableau suivant représente donc des moyennes :

DÉSIGNATION DES TERRES.	AMMONIAQUE CONTENUE dans 100 cent. c. de dissolution.	ALCALI ABSORBÉ par 50 grammes de terre.
	gr.	gr.
Terre de Bechelbronn.....	0.355	0.056
	0.117	0.032
	0.029	0.014
— du Liebfrauenberg.....	0.355	0.035
	0.117	0.026
	0.059	0.019
	0.029	0.011
— de Mittelhausbergen.....	0.355	0.024
	0.117	0.017
	0.029	0.008

La force avec laquelle la terre absorbe l'alcali varie donc surtout avec la concentration de la dissolution. Un contact prolongé augmente également d'une petite quantité l'absorption, ainsi que le montre le tableau suivant :

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, t. LVI, p. 497.

DÉSIGNATION DES TERRES.	AMMONIAQUE pour 100 CENTIM. CUBES.	ALCALI ABSORBÉ après 4 heures par 50 gr. de terre.	ALCALI ABSORBÉ après 24 heures par 50 gr. de terre.
Terre de Bechelbronn.....	0.355	0.048	0.059
	0.117	0.030	0.035
— du Liebfrauenberg..	0.117	0.024	0.029
— de Mittelhausbergen.	0.117	0.015	0.018

Ces résultats sont loin de faire naître l'idée d'une combinaison chimique bien définie entre la terre et l'alcali.

Avec un sel ammoniacal, l'absorption se fait, pour une même dissolution, avec plus de régularité; mais elle varie notablement avec la concentration de la dissolution :

DÉSIGNATION DES TERRES.	AMMONIAQUE CONTENUE dans 100 cent. cub. de dissolution de chlorhydrate.	AMMONIAQUE ABSORBÉE par 50 grammes de terre.
Terre de Bechelbronn.....	0.379	0.090
	0.038	0.020
— du Liebfrauenberg.....	0.379	0.043
	0.038	0.010
— de Mittelhausbergen.....	0.379	0.055
	0.038	0.018

Ainsi que l'avait annoncé M. Way, la base seule est absorbée, tandis que l'acide reste dans la dissolution, associé en général à la chaux. La décomposition du sel s'arrête à la quantité correspondant à l'alcali fixé, et la dissolution est neutre aux réactifs colorés après comme avant son contact avec la terre.

Causes de l'absorption de l'ammoniaque par la terre arable. — M. Way avait imaginé que l'ammoniaque devait former, avec un silicate d'alumine particulier dont il supposait l'existence dans le sol, une véritable combinaison; mais ce qui s'était passé avec la terre du Liebfrauenberg, presque totalement exempte de composés alumineux, fit penser à M. Brustlein que la matière organique (humus) pourrait bien jouer un rôle actif dans l'absorption de l'ammoniaque. Le premier essai fait en vue de vérifier cette hypothèse montra que 50 grammes de terreau retiré d'un chêne creux, mis en contact avec 100 centimètres cubes d'une dissolution contenant 0,35 d'ammo-

niaque libre, faisaient, en une heure, disparaître toute odeur ammoniacale, tandis que la matière avait, pendant la courte durée de cette expérience, augmenté suffisamment de volume pour rendre impossible la décantation.

Voici les résultats de quelques autres expériences :

MATIÈRES ESSAYÉES ET CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE.	AMMONIAQUE pour 100 CENT. CUBES de dissolution.	AMMONIAQUE ABSORBÉE.
20 gram. d'humus, après deux heures.....	0.117	0.077
10 — d'humus, après deux heures.....	0.355	0.125
10 — d'humus, en vingt heures.....	0.352	0.127
25 — de tourbe.....	0.355	0.177

Le noir animal en grains, ou lavé à l'acide et calciné, jouit également de propriétés absorbantes. Les matières ulmiques, le terreau, etc., absorbent donc une fraction importante de l'ammoniaque libre tenue en dissolution dans l'eau; ils n'exercent au contraire aucune action sur une dissolution d'un sel ammoniacal. Si l'on rapproche ce fait de celui que nous avons indiqué plus haut, à savoir, que lorsqu'on introduit une dissolution d'un sel ammoniacal dans la terre arable, on trouve dans la liqueur l'acide du sel combiné avec de la chaux, on peut en conclure que la réaction d'un sel ammoniacal sur la terre arable doit se passer de la façon suivante :

1° Réaction du sel ammoniacal sur le carbonate de chaux contenu dans le sol; formation de carbonate d'ammoniaque et d'un sel de chaux renfermant l'élément électro-négatif d'abord combiné à l'ammoniaque. Si, par exemple, c'est du chlorhydrate d'ammoniaque qui réagit sur la terre, on aura d'abord :

$$\underbrace{CO^3,Ca}_{\text{Carbonate de chaux de la terre arable.}} + \underbrace{2(AzH^4,Cl)}_{\text{Chlorhydrate d'ammoniaque de la dissolution.}} = CaCl^2 + \underbrace{CO^3 2AzH^4}_{\text{Carbonate d'ammoniaque.}}.$$

2° Absorption du carbonate d'ammoniaque formé, par les matières ulmiques, comme le serait l'ammoniaque elle-même.

Pour démontrer que la réaction suit bien les deux phases que nous venons d'indiquer, on lave un échantillon de terre arable à l'aide d'acide chlorhydrique faible, de façon à enlever tout le carbonate de

chaux qui s'y rencontre, et l'on reconnaît que la terre ainsi traitée n'exerce plus aucune action absorbante sur les sels ammoniacaux. Si, au contraire, on arrose cette terre lavée à l'acide chlorhydrique avec une dissolution de carbonate de chaux dans l'acide carbonique, de façon à y incorporer du calcaire extrêmement divisé, on obtient un mélange qui jouit des propriétés de la terre primitive. Ainsi : 45 grammes d'un pareil mélange, mis en contact avec 100 centimètres cubes d'une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque contenant 0,354 d'alcali, en ont absorbé $0^{gr},043$.

En incorporant, par la méthode précédente, du carbonate de chaux à 20 grammes de noir animal lavé à l'acide, on obtient avec la même dissolution une absorption de 0,029 d'ammoniaque.

Dans les expériences qui précèdent, l'ammoniaque a-t-elle subi une simple action absorbante, ou bien a-t-elle été modifiée et transformée, par exemple, en un autre produit azoté? L'expérience a prouvé qu'en général cet alcali se retrouvait dans la terre arable; mais il n'en est plus ainsi lorsqu'on opère avec le terreau et la tourbe, car on constate une absorption notable d'oxygène et la destruction d'une quantité d'alcali qui atteint dans la tourbe le septième, dans l'humus le tiers de l'ammoniaque totale absorbée.

La terre arable n'absorbe jamais complètement l'ammoniaque d'une dissolution. — Un autre point d'une très haute importance ressort encore des recherches de M. Brustlein. Cet habile chimiste reconnut que jamais la terre ne peut enlever complètement l'alcali que tient en dissolution une certaine quantité d'eau.

Les expériences ont été faites non seulement en laissant la terre au contact de la dissolution ammoniacale, mais en outre en la faisant traverser par cette dissolution : on a toujours trouvé que l'eau renfermait encore une quantité sensible d'alcali.

Ainsi, dans une expérience où l'on a fait passer 500 centimètres cubes d'eau ammoniacale au travers de 25 grammes de terre de Bechelbronn, on a reconnu que la terre avait retenu $0^{gr},0036$, mais que la dissolution renfermait encore $0^{gr},0107$ d'ammoniaque. Dans une autre expérience, où l'on avait employé 100 grammes de terre de Bechelbronn formant une colonne de $0^{m},2$ de haut, la terre retint 0,0080 d'ammoniaque, mais la dissolution en accusait encore 0,0206.

Il faut conclure de ces expériences que des dissolutions très étendues circulent dans le sol sans décomposition, ou au moins sans abandonner une fraction importante de l'alcali qu'elles renferment.

C'est là un point capital, puisqu'il explique comment l'eau qui séjourne dans le sol amène à la plante les éléments qu'elle tient en dissolution, mais en même temps ne les amène qu'à un degré de dilution telle, que la plante ne saurait en souffrir, comme si elle était en contact avec une dissolution concentrée.

§ 137. — Absorption des bases et des sels par la terre arable.

Absorption de la potasse et de la soude. — Les expériences de M. Brustlein n'ont porté que sur l'ammoniaque et le chlorhydrate d'ammoniaque; mais, avant lui, Liebig avait fait quelques expériences sur l'absorption par la terre arable des alcalis fixes, et notamment de la potasse et de la soude. Il a trouvé que ces deux bases étaient absorbées en proportions très différentes; c'est ce qui ressort de l'expérience suivante :

125 centim. cubes de purin contenaient			
Avant la filtration.		Après la filtration.	
Potasse.....	0.0867	Potasse.....	0.0056
Soude.....	0.0168	Soude.....	0.0118

Vœlcker (1) est arrivé aux mêmes résultats. Les deux bases étant employées l'une et l'autre à l'état de chlorure, il a trouvé que pour 100 parties de potasse ou de soude en dissolution, les terres de diverses natures en expérience ont retenu :

	Potasse.	Soude.
Terre calcaire.....	3.578	0.800
— argileuse.	3.970	1.057
— sablonneuse fertile.....	2.626	0.620
— d'un pâturage	3.758	1.000
— marneuse.....	3.373	0.996
Sable ferrugineux fertile.....	1.475	0.620

Absorption différente des carbonates et des sulfates. — Dans les travaux dont nous venons de rendre compte, on ne s'est pas préoccupé de la nature de l'acide avec lequel étaient combinées les bases dont on déterminait l'absorption; au contraire, dans les recherches qui ont été entreprises sur le plâtrage des terres arables (2), on a été conduit à étudier comparativement l'absorption de la potasse et de l'ammoniaque à l'état de sulfate et de carbonate. On fait

(1) *The Journ. of the Royal Agric. Soc. of England*, 2e série, 1865, t. I, p. 313.
(2) *Annales du Conservatoire*, 1863-1865.

réagir, dans ces opérations, de 50 à 100 ou 200 grammes de kaolin ou de terre sur une dissolution titrée de potasse ou d'ammoniaque à l'état de sulfate ou de carbonate; on mesure le volume de dissolution ajoutée, on laisse le liquide au contact de la matière absorbante pendant quelques heures, puis on filtre. On mesure le liquide recueilli, et l'on dose la potasse et l'ammoniaque à l'aide du chlorure de platine; on s'était naturellement assuré que les matières absorbantes ne cédaient à l'eau pure ni potasse ni ammoniaque. On sait au reste que la quantité de ces bases que l'eau peut enlever à 150 ou 100 grammes de terre est extrêmement faible et ne peut avoir d'influence sur les résultats.

On conclut, de la quantité de base trouvée dans le volume du liquide recueilli, à ce qu'on aurait obtenu si l'on avait pu retirer de la matière absorbante tout le liquide introduit; on constate un appauvrissement de la liqueur, qui indique la quantité de base absorbée. En opérant ainsi, on a trouvé les nombres suivants :

Absorption comparée de la potasse à l'état de carbonate et à l'état de sulfate.

NATURE ET POIDS DES MATIÈRES ABSORBANTES.	POIDS de LA POTASSE ajoutée.	POIDS de LA POTASSE retrouvée.	POIDS de LA POTASSE retenue.	POTASSE RETENUE pour 100 parties ajoutées.
1° CARBONATE DE POTASSE.				
50 gram. kaolin.....	0.588	0.092	0.496	85
50 — kaolin.....	0.588	0.075	0.513	87
50 — kaolin.....	0.214	0.072	0.142	66
100 — terre de Touraine.....	0.100	0.000	0.100	100
200 — terre du Luxembourg..	0.075	0.050	0.025	33
550 gram. matières absorbantes..	1.565	0.289	1.276	74
2° SULFATE DE POTASSE.				
100 gram. kaolin.....	0.470	0.307	0.063	35
50 — kaolin.....	0.266	0.120	0.146	35
100 — terre de Touraine.....	0.100	0.030	0.070	30
100 — terre du Luxembourg..	0.097	0.092	0.005	5
350 gram. matières absorbantes..	0.933	0.549	0.284	31

Nous voyons donc que le carbonate de potasse est retenu par la terre arable et par le kaolin bien plus énergiquement que le sulfate : toutefois, pour constater des différences sensibles, il faut opérer avec des dissolutions étendues; si l'on prend des dissolutions de moyenne concentration, on n'obtient plus les mêmes résultats.

On a reconnu (*loc. cit.*) que l'ammoniaque était aussi bien mieux retenue quand elle était introduite à l'état de carbonate que lorsqu'elle était placée dans le sol à l'état de sulfate.

En résumé, on a trouvé qu'en employant des *dissolutions étendues :*

Sur 100 de potasse introduits dans une matière absorbante à l'état de carbonate, en moyenne.....	74	sont retenus.
Sur 100 de potasse introduits à l'état de sulfate.....	32	—
Sur 100 d'ammoniaque introduits à l'état de carbonate.....	80	—
Sur 100 d'ammoniaque introduits à l'état de sulfate.....	31.5	—

Absorption du silicate de potasse. — Une dissolution de silicate de potasse mise en contact avec la terre arable perd de la potasse et de la silice en proportions variables. On a remarqué que les terres riches en matières organiques absorbent la silice en moindre quantité que les autres. Il est vraisemblable qu'il faut en chercher la raison dans la solubilité de la silice dans l'acide carbonique, formé dans le sol par l'oxydation des débris des végétaux. Le silicate de potasse introduit dans le sol y éprouverait donc une décomposition rapide : sous l'influence de l'acide carbonique, il se produirait du carbonate de potasse et de la silice; le carbonate serait absorbé, et la silice amenée à l'état insoluble, à moins qu'elle ne rencontrât un excès d'acide carbonique capable de la dissoudre.

Absorption du phosphate de chaux soluble. — On emploie comme engrais d'énormes quantités de phosphate de chaux traité par l'acide sulfurique, de superphosphate, et il y a grand intérêt à savoir comment un semblable produit, extrêmement acide, se comporte dans le sol. On avait bien remarqué que les plantes ne souffraient pas habituellement de la causticité de cette matière; mais on n'avait sur cette question que des idées assez vagues avant les travaux de Vœlcker.

Ce chimiste distingué a étudié l'absorption des phosphates solubles par plusieurs terres de natures différentes. Le mode de recher-

che était très simple : on préparait une dissolution de phosphate de chaux acide, on la mettait en contact avec les terres; puis on déterminait, après quelques jours, la quantité de phosphate restée en dissolution.

La première expérience a été faite sur un sol sablonneux; on a trouvé que la proportion de phosphate dissous diminuait rapidement, mais que cependant l'absorption n'était pas encore complète après vingt-six jours. On pourrait donc craindre qu'il n'y eût une perte sensible, si, peu de temps après l'application du superphosphate sur un terrain de cette nature, il survenait une pluie abondante; mais il faut remarquer cependant que, dans les expériences précédentes, on a singulièrement exagéré la proportion du phosphate employé; que, dans la pratique agricole, les proportions sont tout autres, et que le phosphate ne se trouve jamais qu'en quantité très faible par rapport à la masse de la terre sur laquelle il est répandu. Il suffit donc que la propriété absorbante existe pour qu'on soit certain de n'avoir pas de pertes sérieuses à craindre.

Dans la seconde expérience, qui eut lieu sur un sol calcaire, l'absorption fut bien plus rapide que celle qui portait sur le sol sablonneux pauvre en chaux, et cependant la présence d'un grand excès de carbonate de chaux finement divisé n'a pas déterminé une absorption immédiate; après huit jours, il restait encore une petite quantité de phosphate en dissolution dans l'eau.

Une argile tenace a absorbé en vingt quatre-heures la moitié, en huit jours les deux tiers, en vingt-six jours les trois quarts du phosphate soluble qui a été mis en contact avec elle.

Dans une autre argile tenace, l'absorption a été plus rapide que dans l'expérience précédente, mais elle est sensiblement inférieure dans ces deux cas à celle qu'on observe dans les sols crayeux.

La cinquième expérience a été faite sur un sable ferrugineux, qui a montré un pouvoir absorbant moindre que les sols précédents; après dix-sept jours, il restait encore en dissolution plus du quart du phosphate soluble introduit. Enfin, la dernière expérience porta sur un sol marneux, dont, au contraire, le pouvoir absorbant fut considérable.

Ainsi l'expérience démontre que le superphosphate de chaux ne persiste pas à l'état soluble dans le sol, mais qu'il y rencontre bientôt, soit du carbonate de chaux, soit de l'alumine, soit de l'oxyde de fer, qui se saisissent de son acide en excès et l'amènent à l'état insoluble. Il est donc vraisemblable qu'ajouter des phosphates acides à

la terre arable, ce n'est pas y placer une matière soluble, devant servir directement de nourriture aux plantes, comme ce serait le cas pour un nitrate, mais c'est introduire du phosphate sous une forme telle, qu'après avoir été répandu dans le sol plus régulièrement que s'il était insoluble au moment de l'application, il se trouve bientôt précipité sous forme gélatineuse, particulièrement favorable à la formation de nouvelles combinaisons solubles ou à la dissolution dans l'eau chargée d'acide carbonique.

Il faut remarquer toutefois que le temps pendant lequel le phosphate restera à l'état acide, soluble dans l'eau, variera avec les sols sur lesquels il sera distribué. Ainsi, tandis qu'il n'y aurait vraisemblablement aucun inconvénient à répandre cet engrais sur un sol calcaire même très peu de temps avant les semailles, il n'en serait plus de même s'il devait être donné à un sol sablonneux ou granitique; dans ce cas, il sera bon d'employer le phosphate assez longtemps avant les semailles, pour que la saturation ait eu le temps de se produire, et que les graines ne se trouvent pas au contact d'une matière corrosive qui, infailliblement, déterminerait leur destruction. C'est ce qui a eu lieu notamment dans quelques-unes des expériences importantes qu'un chimiste agronome trop tôt disparu, Bobierre, a exécutées en Bretagne. Elles ont porté sur des cultures de sarrasin : le superphosphate a déterminé la perte de la récolte, tandis que les phosphates fossiles simplement pulvérisés, ou le noir animal, ont donné au contraire d'excellents résultats.

§ 138. — Les nitrates ne sont pas absorbés par la terre arable. Conséquences.

Nous venons de voir que l'acide phosphorique, s'engageant facilement dans des combinaisons insolubles avec les bases abondantes dans le sol, est plus ou moins rapidement soustrait aux dissolutions qui sont mises au contact de la terre arable.

Nous avons vu également que la potasse et l'ammoniaque sont facilement retenues par la terre, quand elles lui sont présentées à l'état de carbonate, mais qu'elles le sont moins bien quand elles sont unies à l'acide sulfurique.

Si les propriétés absorbantes sont ainsi précieuses pour retenir dans le sol quelques-uns des aliments des végétaux, il se trouve qu'une des combinaisons azotées les plus efficaces circule au

contraire dans le sol sans subir à son contact le moindre changement; les nitrates ne sont pas retenus.

Démonstration expérimentale. — Il est facile de le faire voir, dans un cours, en opérant de la façon suivante; on dispose un appareil à dosage des nitrates par la mesure du bioxyde d'azote et tandis qu'on chauffe le mélange de chlorure de fer et d'acide chlorhydrique pour chasser l'air du ballon, on agite 50 grammes de terre avec une dissolution étendue de nitrate capable de fournir par exemple 20 c. c. de bioxyde pour 10 c. c. de dissolution; quand on a bien agité la terre et la dissolution, on jette le tout sur un filtre et pendant que la filtration a lieu, on verse dans l'entonnoir, 10 c. c. de la dissolution du nitrate qui n'a pas été agité au contact de la terre, puis lentement on les fait passer dans le ballon et on recueille le bioxyde; quand cette opération est terminée, la filtration de la dissolution agitée avec la terre a eu lieu; on prélève 10 c. c. du liquide, on les introduit dans l'appareil, et on trouve habituellement une quantité de gaz exactement semblable à celle qu'a fourni la dissolution qui n'a pas été agité avec la terre.

Les nitrates ne sont pas retenus par la terre arable, et c'est là un fait qui entraîne des conséquences d'une haute importance.

Conséquences de la non absorption des nitrates par la terre arable. — Nous avons vu dans le chapitre précédent que les matières azotées contenues dans le sol sont la proie de divers organismes qui les transforment successivement en ammoniaque, en nitrites, puis en nitrates; cette formation est très active quand les conditions sont favorables, et puisque les nitrates ne sont pas retenus par la terre arable, on conçoit que l'azote nitrifié est : ou bien utilisé par la plante ou entraîné par les eaux qui circulent dans le sol et perdu.

Pour compenser ces pertes continuelles, pour qu'un sol labouré, remué, aéré chaque année, conserve un stock suffisant de matières azotées, des apports continuels d'engrais riches en azote sont nécessaires; les fumures de fumier de ferme, de débris animaux, de tourteaux, enfin de sels ammoniacaux et de nitrates que reçoivent presque tous les domaines importants ont précisément pour but de remplacer l'azote qui est constamment perdu.

La pénurie d'engrais azoté, que déplorent avec juste raison les cultivateurs, est donc due à la non absorption des nitrates par la terre arable, à leur déperdition dans les eaux de drainage et on

conçoit combien il est intéressant d'analyser les eaux qui circulent dans le sol et celles qui s'en écoulent ; les résultats de ces analyses sont exposées dans les paragraphes suivants, qui vont nous montrer que ces eaux ne renferment guère : de potasse d'ammoniaque ou d'acide phosphorique, matières bien absorbées par la terre arable, tandis qu'on y trouve de l'acide azotique, de la chaux, de la soude et du chlore qu'elles n'ont pas la propriété de retenir.

§ 139. — Composition de l'eau qui circule dans la terre arable.

Les observations précédentes démontrent que l'eau ne se charge pas indifféremment de toutes les matières solubles que le sol renferme, et bien que les racines ne s'emparent pas exclusivement des matières préalablement dissoutes, on doit admettre qu'elles y puisent la majeure partie des éléments qu'elles absorbent, par suite, il est intéressant de connaître la composition de l'eau que renferme normalement le sol, de savoir quels sont les principes qu'elle contient.

C'est ce qu'a recherché M. Schlœsing (1), qui opère le déplacement des principes solubles en déversant lentement, à la surface d'une terre humide, de l'eau en pluie fine. On arrive ainsi, d'après le savant professeur du Conservatoire, à chasser complètement l'eau primitivement contenue dans la terre sans la mélanger avec la pluie artificielle ; et, en effet, en recueillant le liquide qui s'écoule, M. Schlœsing s'assure que des prises de 50 centimètres cubes, faites successivement, conservent pendant un temps assez long une composition constante, ce qui n'aurait pas lieu si l'eau ajoutée venait se mêler à celle qui était primitivement renfermée dans le sol. Cette méthode a permis à M. Schlœsing de déterminer la composition des eaux contenues dans différents sols, et de voir que les matières utiles aux plantes s'y rencontrent en quantités très inégales : ainsi l'acide phosphorique est toujours très peu abondant tandis que l'acide nitrique, au contraire, s'y trouve en proportions notables.

Les nitrates, ainsi qu'il vient d'être dit, ne sont pas absorbés par la terre arable, on conçoit par suite que si on fait filtrer sur un sol sec, une dissolution de nitrate, cette dissolution puisse s'enrichir, non en dissolvant les nitrates du sol, mais en perdant de

(1) *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 1007, 1866.

l'eau ; la concentration étant due à l'absorption de l'eau est naturellement d'autant plus grande que la terre est plus sèche.

C'est ce que démontre clairement l'expérience suivante :

Une terre a été dépouillée par lavage de toute trace d'acide nitrique, puis elle a été séchée sur du chlorure de calcium à la température ordinaire et enfermée dans une allonge ; elle a été ensuite arrosée d'une dissolution étendue de nitrate de chaux. Si la terre pouvait opérer la séparation prévue, la dissolution devait se concentrer en descendant, et les premières prises devaient montrer une richesse en acide nitrique plus grande que celle qu'on obtiendrait plus tard ; en effet, une fois la terre saturée d'eau, le liquide devait couler avec sa composition normale.

Le poids de la terre étant de $1^{kil},150$ et la quantité d'acide azotique de $7^{milligr},38$ dans 10 centimètres cubes, on a trouvé les poids suivants d'acide azotique dans 10 centimètres cubes recueillis successivement :

$14^{milligr},0$; 11,9; 11,9; 11,0; 10,9; 10,6; 10,1; 9,9; 9,7.

et ce ne fut qu'après avoir recueilli 450 centimètres cubes qu'on trouva, dans 10 centimètres cubes, $7^{milligr},25$.

Dans une autre expérience, l'eau de lavage d'une terre renfermant 17 p. 100 d'eau a donné un résidu de 22 milligrammes pour 10 centimètres cubes, et celui-ci est devenu 27 milligrammes quand la terre ne contenait que 15 p. 100 d'eau. On a encore observé des résidus de 23, 29 et 103 milligrammes pour la même terre renfermant respectivement 14,3. 12,4 et 8 p. 100 d'eau.

On voit donc, ainsi qu'il a été dit, que la terre a non-seulement une certaine tendance à retenir les bases de certains sels, mais qu'elle peut aussi parfois concentrer les dissolutions qui y circulent. Pendant les sécheresses, la terre renferme donc des dissolutions de nitrates concentrées qui pénétrant dans les plantes y créent ces réserves parfois nuisibles aux animaux nourris avec ces végétaux. On sait notamment que les grosses betteraves très aqueuses, destinées au bétail, renferment souvent des quantités énormes de nitrates.

M. Schlœsing ne s'est pas contenté de déterminer les modifications que la terre arable pouvait occasionner dans une dissolution à un titre connu ; il a voulu savoir exactement quelles étaient les substances dissoutes dans l'eau contenue dans la terre arable : il a

déplacé ces eaux par la méthode indiquée plus haut, légèrement perfectionnée (1), et il en a fait une analyse complète. Enfin, pour fixer rigoureusement toutes les conditions de l'expérience, il a donné les indications précises sur les terres employées que nous transcrivons dans les tableaux suivants :

Nature des terres d'où proviennent les eaux analysées.

A ..... *a*. Champ de Boulogne (Seine) cultivé sans engrais en tabac depuis dix ans.
b. Même champ, même culture, engraissé avec nitrate de potasse, cendres, terreau.

B..... *a*. Champ à Issy (Seine); récolte de 1869 : 39 hectolitres de blé.
b. Même champ.
c. Même champ traversé, du 24 avril au 12 mai, par de l'air pur.
d. Même champ traversé, du 24 avril au 6 mai, par de l'air contenant 24 pour 100 CO^2.

C..... Champ à Neauphle-le-Château (Seine-et-Oise).

D..... *a*. Autre champ à Neauphle ; récolte de 1869 : 28 hectolitres de blé.
b. Même champ.

E..... *a*. Autre champ à Neauphle ; récolte de 1869 : 73 hectolitres d'avoine.
b. Même champ traversé, du 28 mars au 9 avril, par de l'air contenant 13 pour 100 CO^2.
a'. C'est *a* qui, après un premier déplacement, a été traversé, du 9 au 14 avril, par de l'air contenant 25 pour 100 CO^2.
c. Même champ.

F..... *a*. Autre champ à Neauphle ; récolte de 1869 : 34 hectolitres de blé.
b. Même champ.

G..... *a*. Autre champ à Neauphle ; récolte de 1869 : 35 hectolitres de blé.
a'. C'est *a* qui, après un premier déplacement, a été traversé, du 15 au 21 avril, par un courant d'air contenant 23 pour 100 CO^2.
b. Même champ.

(1) *Comptes rendus*, 1870, t. LXX, p. 98.

Analyses des terres précédentes.

	A.	B.	C.	.	E.	F.	G.
Gravier	6.1	4.0	17.0	9.6	3.4	3.8	3.7
Résidu de la décantation ... Sable siliceux.	24.8	22.6	39.4	44.1	22.4	21.8	22.9
Résidu de la décantation ... Sable calcaire.	20.2	21.4	»	»	»	»	»
Terre décantée. Sable fin	20.6	11.5	27.2	25.6	53.9	54.4	55.5
Terre décantée. Calcaire	18.4	19.7	indét.	2.4	0.37	0.63	0.28
Terre décantée. Argile	9.3	18.4	12.7	15.8	18.4	17.0	15.7
Débris organiques	»	2.3	2.6	2.9	1.5	1.7	1.9
Terre sèche	99.4	100.1	98.9	100.4	99.97	99.33	99.98

Nous donnons ci-joint les résultats des analyses de M. Schlœsing :

Ces déterminations confirment avec la plus grande netteté les faits précédents : nous avons vu que parmi les matières les plus utiles aux végétaux, trois : à savoir l'acide azotique, la chaux et le chlore, ne sont pas retenus par la terre arable, tandis que trois autres sont au contraire absorbées : l'ammoniaque, la potasse et l'acide phosphorique ; or dans le tableau précédent indiquant les matières restées en dissolution dans l'eau du sol, on trouve précisément que si l'acide azotique, le chlore et la chaux sont abondants, la potasse, l'ammoniaque et l'acide phosphorique sont rares ou absents.

On voit en outre combien est variable la quantité de nitrates contenue dans un sol ; elle dépend bien plus de son état de sécheresse au moment de la prise d'échantillons, que des engrais distribués. Ainsi G*a* saturé d'eau le 26 mars ne renferme pas de nitrates, tandis que 7 juillet, un litre d'eau en contient 0^{gr},555. Le 25 juin A*a* cultivé sans engrais depuis dix ans donne encore 0^{gr},305 d'acide nitrique et A*b*, qui a reçu du nitrate de potasse, n'est pas beaucoup plus chargé. Le courant d'acide carbonique n'a guère eu d'influence que sur la solubilité de la chaux.

Ces déterminations ne sont pas suffisantes cependant pour nous renseigner d'une façon complète sur la nature des matières qu'il faudrait employer comme engrais, puisque nous savons que les racines peuvent se saisir, non seulement des matières dissoutes dans l'eau qui les baigne, mais aussi des substances qui ne se dissolvent que grâce à l'acidité du suc qui les imprègne. Le champ B de l'expérience précédente a rendu l'année même où l'échantillon a

Analyses des solutions.

TERRES.	DATE de L'ÉCHANTILLONNAGE.	HUMIDITÉ DE LA TERRE.	TAUX P. 100 D'ACIDE CARBONIQUE dans ces terres.	UN LITRE DE SOLUTION RENFERME, EXPRIMES EN MILLIGRAMMES : ACIDE CARBONIQUE 1re ébullition.	ACIDE CARBONIQUE 2e ébullition.	AMMONIAQUE.	MATIÈRE ORGANIQUE.	ACIDE NITRIQUE.	CHLORE.	ACIDE SULFURIQUE.	ACIDE PHOSPHORIQUE ET FER.	SILICE.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.
	1869.															
A.... *a.*	25 juin.....	19.1	0.49	45.5	72.5	»	37.5	305.0	7.4	57.9	0.8	29.1	264.2	13.5	6.9	7.8
b.	Id.	18.8	0.54	91.3	107.9	»	89.9	332.4	6.7	74.5	2.8	32.0	227.2	20.2	156.8	14.3
B.... *a.*	7 février.....	21.4	1.40	»	»	2.4	»	154.4	6.7	24.3	»	18.9	309.1	»	»	»
b.	24 avril.....	15.85	2.55	251.0	230.0	»	64.1	56.8	5.6	49.9	»	26.0	300.8	20.8	2.8	27.0
c.	Id.	15.85	0.15	58.8	57.6	»	57.8	152.4	13.9	56.2	»	21.0	177.6	12.1	0.8	27.7
d.	Id.	15.85	24.0	925.0	512.5	»	87.3	230.6	12.1	49.8	»	33.6	694.1	46.7	2.6	38.5
C.....	24 février.....	21.8	1.37	194.3	178.7	0.3	»	15.0	5.1	13.9	»	52.9	217.6	18.7	11.8	26.5
D.... *a.*	Id.	18.7	0.72	134.6	103.2	0.0	»	135.0	12.2	11.55	»	48.4	204.8	15.1	»	24.2
b.	7 juillet.....	16.25	»	»	»	»	47.3	573.0	39.2	36.3	0.5	23.3	414.1	35.2	2.9	18.7
E.... *a.*	26 mars.....	18.25	0.9	110.6	67.4	0.0	36.8	362.0	35.2	39.0	0.5	22.6	300.9	19.6	4.8	29.8
b.	Id.	18.25	13.0	500.4	260.0	0.7	54.7	428.0	30.3	28.9	0.7	40.5	538.0	32.3	5.4	37.8
a'.	Id.	saturée	25.0	720.8	308.7	»	51.8	456.0	32.2	52.0	1.4	47.0	608.7	33.9	4.9	42.5
c.	7 juillet.....	15.25	»	»	»	»	24.0	593.4	46.1	46.3	0.5	32.0	399.2	25.3	3.0	37.2
F.... *a.*	26 mars.....	19.75	1.5	178.1	157.1	0.8	47.3	99.8	12.6	27.8	1.5	31.0	241.9	17.9	5.1	21.8
b.	7 juillet.....	15.35	1.09	104.8	92.2	»	30.9	463.2	26.0	48.7	0.7	29.3	353.9	21.9	2.7	26.3
G.... *a.*	26 mars.....	19.6	2.1	106.6	88.7	0.46	32.6	83.0	17.3	22.2	0.8	31.6	131.8	16.6	5.1	21.4
a'.	Id.	saturée	23.0	691.0	335.0	»	79.3	»	15.7	30.6	»	48.5	336.1	46.4	5.4	37.3
b.	7 juillet.....	15.6	1.38	49.4	34.3	»	30.9	555.4	31.7	39.7	0.2	23.3	211.4	33.6	3.4	36.0

été prélevé : 39 hectolitres de blé, c'est une preuve que ni l'acide phosphorique, ni la potasse ne faisaient défaut et cependant l'eau du sol n'en renferme que des traces ; si ces études n'indiquent pas les matières qui font défaut dans le sol, elles nous renseignent déjà sur celles qui, étant dissoutes, seront absorbées ou perdues ; or ces pertes sont parfois considérables, ainsi que nous allons le voir encore plus clairement en déterminant la composition des eaux de drainage.

ÉTUDE DES EAUX DE DRAINAGE.

Les expériences précédentes exécutées au laboratoire nous dévoilent que parmi les matières qui servent à l'alimentation des végétaux, quelques-unes se laissent entraîner par les eaux qui circulent dans le sol ; parmi elles se trouve l'acide azotique, forme particulièrement efficace de l'assimilation de l'azote.

Il est manifeste, ainsi qu'il a été dit déjà, que les eaux qui traversent la terre arable s'enfoncent dans le sous-sol quand il est perméable, s'écoulent par les drains quand il est nécessaire de les faire écouler artificiellement, sont chargées de nitrates, et que cet entraînement peut être l'occasion de pertes sérieuses.

Il est donc du plus haut intérêt de compléter les études précédentes sur les propriétés absorbantes des terres arables, par la mesure et l'analyse des eaux de drainage de terres nues ou cultivées, maintenues sans engrais ou au contraire enrichies par diverses fumures de façon à voir quelle est l'étendue des pertes de nitrates qu'occasionne le lavage des terres par les eaux pluviales ; il importe en outre de savoir à quel moment ces pertes sont les plus fortes, et comment on réussit à les éviter.

Ces études ont été poursuivies avec le plus grand zèle par les agronomes anglais : M. Frankland, M. Vœlcker s'en sont occupés d'abord, ensuite MM. Lawes, Gilbert et Warington y ont consacré beaucoup de temps et nous donnerons dans les pages suivantes quelques-uns des résultats numériques obtenus en Angleterre. Nous y ajouterons les déterminations que nous avons exécutées à l'École de Grignon dans ces dernières années.

§ 140. — Drainage d'une terre sans végétation.

Travaux exécutés à Rothamsted. — Il convient, ainsi qu'il vient d'être dit, de distinguer les résultats fournis par divers sols, suivant qu'ils sont nus ou au contraire couverts de végétaux, ceux-ci apportant une cause pertubatrice puissante, puisque d'une part ils évaporent une fraction notable de l'eau tombée, que par suite, pour une quantité déterminée de pluie, le drainage est diminué, et que de l'autre ils utilisent à leur profit une partie des nitrates formés, qui sont entraînés par l'eau, quand les plantes font défaut.

Cette étude a été conduite avec beaucoup de soins à Rothamsted par MM. Lawes, Gilbert et Warington (1) qui ont construit de grandes caisses en brique isolant des masses de terre présentant les hauteurs de 50 centimètres dans un cas, 1 mètre et $1^{m},50$ dans les deux autres.

Les observations continuées pendant les dix années 1870-80 ont montré que les quantités d'eau de drainage recueillies variaient avec les saisons et les années dans d'énormes proportions. On a trouvé, en effet, que pour 100 d'eau tombée, on recueillait de 7, 9 à 47,6 pour l'été, avec une moyenne de 26,8; de 39,8 à 80,1 pendant l'hiver avec une moyenne de 61,9 ; enfin de 21,7 à 60,5 pour l'année entière, le drainage étant en moyenne des 43,4 centièmes de la pluie.

Les analyses ci-jointes, dues au Dr Frankland, donnent une idée de la composition des eaux de drainage à diverses époques :

Les trois premiers exemples sont relatifs au drainage d'automne après un été sec ; la nitrification très active pendant la saison chaude dans les couches superficielles à laissé ses produits dans le sol jusqu'aux premières pluies ; aussi les eaux de drainage qui en ont résulté se trouvent-elles exceptionnellement riches en nitrates.

Le quatrième échantillon au contraire, recueilli après une saison pluvieuse, ne contient qu'une faible proportion de matières dissoutes, les nitrates, en particulier, y sont beaucoup moins abondants que dans tous les autres lots.

Ainsi que permettait de le prévoir la connaissance des propriétés absorbantes des terres, l'azote se rencontre dans les eaux en

(1) Le mémoire original a paru dans *The Journal of the royal agricultural Society* (1881) ; M. Maquenne en a donné un résumé très complet dans les volumes VII, p. 429, VIII, p. 264 et 409 des *Annales agronomiques*.

Composition des eaux de drainage de Rothamsted (moyenne des trois caisses de filtration) en grammes par mètre cube. Analyses du Dr Frankland.

DATES des PRISES D'ÉCHANTILLON.	MATIÈRES SOLIDES TOTALES.	CARBONE ORGANIQUE.	AZOTE				CHLORE.	DURETÉ (1).
			ORGANIQUE.	AMMONIACAL.	NITRIQUE ET NITREUX.	TOTAL.		
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	
20-23 novembre 1870....	462.5	1.27	0.45	0.00	33.78	34.23	23.3	139
15-17 décembre 1870....	384.4	2.63	0.87	0.07	26.85	27.79	29.8	104
30-31 octobre 1872.....	300.8	1.02	0.38	0.01	23.69	24.08	8.2	153
25-26 février 1873.....	198.7	1.46	0.37	0.02	7.18	7.57	9.5	107
2-30 avril 1874.....	256.4	1.29	0.57	0.15	18.26	18.99	9.5	129
Moyenne.....	320.6	1.53	0.53	0.05	21.95	22.53	16.5	127

(1) On désigne sous ce nom la propriété qu'a l'eau de décomposer une dissolution de savon, les acides gras sont précipités par la chaux que renferme l'eau étudiée, la dureté est d'autant plus grande que l'eau est plus calcaire.

proportions très diverses sous ses trois formes : organique, ammoniacal et nitrique, tandis que les nitrates sont en général abondants, l'ammoniaque est rare, enfin les eaux de drainage renferment toujours une petite quantité de matière organique azotée.

Pendant les trois années 1877-1880, les eaux de drainages furent régulièrement analysées et on put calculer les quantités de nitrates enlevés par les eaux de drainage au sol d'un hectare pendant un an.

Quantités d'azote nitrique et de chlore enlevées à un hectare de terre par les eaux de drainage pendant les trois années 1877-80.

ANNÉES.	EAU DE DRAINAGE.	AZOTE NITRIQUE.	CHLORE.
	mm.	k.	k.
1879-80.....	245.200	35.594	9.168
1877-78.....	391.500	47.887	18.181
1878-79.....	657.200	64.904	23.075
Moyenne.....	431.300	49.462	16.808

La perte de 1878-79 est due à l'extrême humidité de cette saison.

On sait que l'année 1879 n'a fourni qu'une récolte de blé misérable qui ne s'est élevée en France qu'à 79 millions d'hectolitres ; c'est la récolte la plus faible des vingt dernières années; les semailles de blé contrariées par les pluies de l'automne de 1878 avaient été faites dans des conditions déplorables.

MM. Lawes, Gilbert et Warington estiment qu'en moyenne les eaux de drainage enlèvent annuellement à un hectare de terre non cultivée une quantité d'azote nitrique égale à 47 kilogrammes environ, équivalente à une fumure de 300 kilogrammes de nitrate de soude ; si on ajoute encore la petite quantité d'ammoniaque et de matières organiques dosée, on arrive à 49 kilogrammes environ d'azote combiné ; c'est à peu de chose près ce que renferme une récolte moyenne de blé ou d'orge.

Les conclusions précédentes ont été vérifiées par M. Warington en continuant les observations pendant plusieurs années encore (1). Il a trouvé pour les neuf années 1877-1886 les quantités suivantes :

Eau de drainage et acide nitrique recueillis à des profondeurs de 0m,50 et 1m,50 moyenne des neuf années 1877-1886.

	HAUTEUR DE PLUIE en millimètres.	QUANTITÉ D'EAU DE DRAINAGE en millimètres (*).		AZOTE NITRIQUE PAR MÈTRE CUBE D'EAU.		AZOTE NITRIQUE PAR HECTARE.	
		0m,50.	1m,50.	0m,50.	1m,50.	0m,50.	1m,50.
				gr.	gr.	kil.	kil.
Mars-juin.....	244	81	84	8.3	9.4	6.249	7.381
Juillet-septembre....	235	78	69	16.5	13.6	12.065	8.724
Octobre-février.....	375	292	279	9.7	10.3	26.340	26.928
Année entière.....	854	451	432	10.6	10.7	44.654	43.033

(*) Les eaux ont été recueillies de caisses présentant une hauteur de terre de 0m,50 ou de 1m,50.

Travaux exécutés en France. — M. Berthelot a déterminé la composition de l'eau de drainage qui traversait 45 kilogrammes de terre sèche placés dans un pot de porcelaine vernissé pendant les mois de juin, juillet, août et septembre (2).

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 417.
(2) *Comptes rendus*, t. CV, p. 690.

La surface étant rapportée à 1 mètre carré, la quantité d'eau tombée a été de 232^{lit},68 qui ont fourni 83 litres d'eau de drainage, c'est-à-dire qu'environ le tiers de l'eau tombée a traversé la terre; elle a entraîné 5^{gr},240 d'azote nitrique ou 63 grammes par mètre cube, chiffre beaucoup plus élevé que ceux qui ont été constatés à Rothamsted.

A Grignon, nous avons également abordé cette étude (1) : de grands pots de terre vernissés à l'intérieur, munis à la partie inférieure d'un bouchon et d'un tube pour laisser écouler les eaux, ont été bien drainés par un lit de cailloux et enfin garnis de 30 kilos de terres provenant du champ d'expériences, mais ayant été cultivées d'une façon très variée; les unes avaient porté une prairie de légumineuses puis de graminées de 1879 à 1889, les secondes ont été fumées régulièrement et les dernières sont restées sans engrais depuis 1875, ces dernières ont porté pendant les années précédentes des cultures variées.

Les conditions dans lesquelles ces terres ont été placées pendant l'année juin 1889 à juin 1890 sont d'une part favorables à la nitrification parce que la température y a été un peu plus élevée que dans une terre normale, les autres défavorables puisque la dessiccation a été un peu plus grande et que ces terres n'ont pu en aucune façon bénéficier des eaux souterraines. Les chiffres trouvés se rapporteraient donc à un climat un peu plus sec et un peu plus chaud que celui des environs de Paris.

Nous donnons dans le tableau ci-joint les quantités d'eau de pluie et de drainage recueillies.

La quantité d'eau de drainage p. 100 de pluie est enfermée entre des limites assez étroites, l'eau de drainage n'atteint jamais le tiers de l'eau de pluie, la quantité d'eau écoulée est plus grande dans les terres très appauvries d'humus que dans celles qui en contiennent une plus forte proportion, mais les différences sont minimes. A Rothamsted la proportion de l'eau écoulée est beaucoup plus grande qu'à Meudon et à Grignon; la terre est en général beaucoup plus humide, la quantité d'eau tombée à Rothamsted étant bien plus considérable qu'aux environs de Paris.

Nous donnons dans le tableau ci-joint les résultats des analyses des eaux de drainage recueillies pendant l'année juin 1889 à juin 1890.

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 337; t. XVII, p. 49.

Pluie et eaux de drainage de juin 1889 à juin 1890. (Grignon (Seine-et-Oise.)

DÉSIGNATION DES TERRES.	ÉTÉ. — Juin à octobre.	OCTOBRE. 2 au 9.	OCTOBRE. 9 au 16.	OCTOBRE. 16 au 22.	OCTOBRE. 22 au 7 nov.	HIVER. Nov.-janv. 7 nov. au 7 janv.	HIVER. Janvier. 7 janvier au 3 février.	PRINTEMPS — Février au 31 mai.	ANNÉE entière.
				Pluie en litres.					
	lit. 21.310	lit. 2.110	lit. 1.950	lit. 2.670	lit. 3.600	lit. 6.890	lit. 6.800	lit. 19.810	lit. 65.140
				Drainage en litres.					
Terres en prairie depuis 1879 (1 et 5)....	0.795	1.210	1.705	1.695	3 100	5.020	4.620	5.870	24.015
— régulièrement fumées (17-33-49)..	1.108	1.210	1.680	1.556	3.023	5.116	4.680	6.143	24.516
— sans engrais depuis 1875 (21-A, 21-B, 37-A, 37-B, 53).....	1.078	1.308	1.754	1.728	3.248	5.044	5.016	6.162	25.338
Moyenne.....	0.994	1.243	1.713	1.659	3.124	5.060	4.772	6.058	24.623
				Pluie en millimètres.					
	mm. 164.08	mm. 16.24	mm. 15.01	mm. 20.56	mm. 27.72	mm. 53.05	mm. 52.36	mm. 152.5	mm. 501.4
				Drainage en millimètres de hauteur.					
Terres en prairie depuis 1879.....	6.12	9.25	13.12	13.05	23.87	38.65	35.57	45.19	184.82
— régulièrement fumées..... ...	8.53	9.25	12.93	11.98	23.27	39.39	36.03	47.29	188.67
— sans engrais depuis 1875.....	8.28	10.07	13.50	13.30	25.01	39.03	38.62	47.43	194.24
Moyenne.....	7.65	9.56	13.19	12.77	24.05	38.96	36.74	46.64	189.24

Azote nitrique dans les eaux de drainage de juin 1889 à juin 1890.

DÉSIGNATION DES TERRES.	ÉTÉ. — Juin à octobre.	OCTOBRE. 2 au 9.	OCTOBRE. 9 au 16.	OCTOBRE. 16 au 22.	OCTOBRE. 22 au 7 nov.	HIVER. Nov.-janv. 7 nov. au 7 janv.	HIVER. Janvier. 7 janvier au 7 février.	PRINTEMPS — Février au 31 mai.	ANNÉE entière.
Azote nitrique contenu dans l'eau de drainage en milligrammes.									gr.
Terres en prairie depuis 1875 (1 et 5)....	93	235	332	248	120	56	96	186	1.366
— régulièrement fumées (17-33-49)..	269	340	430	271	101	92	125	163	1.791
— sans engrais depuis 1875 (21-A, 21-B, 37-B, 53).....	155	255	313	142	46	48	91	165	1.215
Moyenne.....	172	276	358	220	89	65	104	171	1.457
Azote nitrique contenu dans l'eau de drainage (par hectare en kilogrammes).									
Terres en prairie depuis 1879 (1 et 5)....	7.1	17.9	25.4	19.0	9.0	4.2	7.1	14.3	104.0
— régulièrement fumées (17-33-49)..	20.7	26.0	33.1	20.8	7.6	7.1	9.7	12.5	137.5
— sans engrais depuis 1875 (21-A, 21-B, 37-A, 37-B, 53).....	11.8	19.5	24.0	10.9	3.5	3.5	6.9	12.6	92.7
Moyenne.....	12.7	21.3	27.3	16.9	6.7	4.6	8.0	13.1	111.7
Azote nitrique contenu dans un mètre cube d'eau de drainage (en grammes).									
Terres en prairie depuis 1875 (1 et 5)....	117	194	194	146	38	11	20	27	56
— régulièrement fumées (17-33-49)..	242	281	256	174	33	18	27	27	72
— sans engrais depuis 1875 (21-A, 21-B, 37-A, 37-B, 53).....	143	194	178	682	14	9	13	26	47
Moyenne.....	167	223	209	132	28	12	21	27	58

On voit par le tableau précédent que les quantités d'azote nitrique perdues par le sol de Grignon sont beaucoup plus élevées que celles qui ont été constatées à Rothamsted ; on remarquera notamment que nos terres sans engrais depuis 1875 ont perdu 92 kilogrammes d'azote, tandis que celles de Rothamsted placées dans les mêmes conditions n'en abandonnent que de 43 à 49 kilogr. par hectare et par an.

La nitrification est donc très variable d'une terre à une autre, c'est ce qui ressort avec une évidence particulière des nombres recueillis dans les mêmes circonstances à l'école de Grignon et que nous avons donnés plus haut.

Nous n'avons pas cru devoir soumettre les eaux de drainage précédentes à une analyse complète ; cependant on a fait quelques essais.

Il a été impossible de déceler dans le résidu obtenu de l'évaporation de 3 litres la moindre trace d'acide phosphorique ; mais on a pu au contraire doser dans ces liquides la potasse :

On a trouvé en potasse (KO) par mètre cube :

	Gr.
Eaux de drainage des terres en bon état de fumure **17**, **33** et **49**	4.96
Eaux de drainage des terres épuisées **21**, **37** et **53**	2.48

Dans un autre dosage ne portant que sur deux terres on a trouvé en potasse (KO) par mètre cube d'eau :

	Gr.
Eaux de drainage de **39** (fumé)	4.65
Eaux de drainage de **37** (sans engrais)	1.52

Ainsi, bien que l'acide phosphorique et la potasse soient retenus l'un et l'autre par les terres arables, ils le sont inégalement ; la potasse est entraînée en plus grande raison que l'acide phosphorique.

On trouve toujours en outre dans les eaux de drainage des matières organiques, et les eaux qui s'écoulent des terres bien fumées ont une teinte ambrée caractéristique que ne possèdent pas les eaux des terres épuisées ; le seul aspect des flacons permet de deviner l'origine des eaux qu'ils renferment. Ces substances organiques sont assez abondantes pour nourrir les végétations cryptogamiques ; aussi pour éviter les pertes de nitrates qu'elles occasionnent est-il nécessaire, quand on ne peut analyser les eaux aussitôt après leur écoulement, de les additionner d'une forte proportion d'alcool ajouté en quantité déterminée.

La matière organique paraît être unie à la potasse et non à la chaux; en effet, si l'on précipite la chaux à l'aide d'oxalate d'ammoniaque, les liqueurs restent colorées; la chaux est au reste dans ces eaux combinée en majeure partie à l'acide sulfurique.

§ 141. — Composition des eaux de drainage d'un sol cultivé recevant des doses variables d'engrais différents.

On sait que MM. Lawes et Gilbert ont maintenu sur un des champs de leur domaine de Rothamsted la culture du blé depuis 1844, jusqu'à l'année présente.

Ce champ est drainé, et ces éminents agronomes ont non seulement déterminé, année par année, l'influence qu'exerçaient les divers engrais employés sur l'abondance des récoltes, ils ont en outre à diverses reprises analysé les eaux de drainage découlant des parcelles qui avaient reçu les diverses fumures.

La composition des eaux recueillies en 1874, et dans laquelle on s'est particulièrement préoccupé des matières organiques et azotées, est intéressante à comparer à celle du tableau précédent indiquant ce que renferme l'eau de drainage d'un sol sans végétation.

Ce tableau comme les précédents montre que la perte d'azote qu'entraîne l'écoulement des eaux de drainage a lieu surtout à l'état d'azote nitrique; la perte apparaît même sur les parcelles 3, 4 et 5 cultivées sans engrais azoté, elle est naturellement moindre que celle qui a été constatée pour les sols non cultivés puisqu'on ne trouve que $3^{gr},8$ par m. cube au lieu de 10; l'azote nitrique étant partiellement utilisé par le blé qui a crû sur ces parcelles.

La parcelle 2 qui a reçu du fumier de ferme n'abandonne à l'eau de drainage peu abondante qu'elle fournit, que de médiocres quantités d'azote nitrique, à peu près semblables à celle que renferme l'eau qui s'écoule de la parcelle 6 qui reçoit la faible dose de 224 kilogrammes de sels ammoniacaux additionnés d'engrais minéraux; les quantités d'azote nitrique qui donnent les parcelles 6, 7 et 8 croissent avec les quantités d'azote ammoniacal distribué.

Si l'on suppose que le carbone et l'azote organique sont réunis dans la même matière, ou voit que le rapport $\frac{C}{Az}$ oscille autour de 4.

Les nombres inscrits dans ce tableau, donnant la richesse en azote nitrique par mètre cube, pourraient cependant conduire à des

Tableau A. — Composition moyenne des eaux de drainage recueillies au champ de blé de Broadbalkfield en grammes par mètre cube (1874).

NUMÉROS des PARCELLES.	FUMURES DISTRIBUÉES A L'HECTARE.	MATIÈRES SOLIDES dissoutes.	CARBONE ORGANIQUE.	AZOTE				CHLORE.	DURETÉ.
				ORGANIQUE.	AMMONIACAL.	NITRIQUE.	TOTAL.		
2	35 000 kil. fumier de ferme.....	312.8	4.57	1.08	0.14	9.2	10.5	18.8	192
3-4	Sans engrais.....	209.3	1.51	0.34	0.01	3.8	4.2	10.1	169
5	Mélange minéral.....	333.6	1.88	0.44	0.02	4.2	4.6	10.3	238
6	224 kilos, sels ammon. et engrais minéraux.....	493.0	2.04	0.48	0.02	9.5	10.0	26 3	340
7	448 — sels ammon. et engrais minéraux.....	592.4	1.84	0.49	0.10	17.7	18.3	41.7	400
8	672 — sels ammon. et engrais minéraux.....	681.8	2.15	0.65	0.06	23.4	24.1	50.2	425
9a	616 — nitrate de soude et engrais minéraux....	382.9	2.10	0.61	0.02	13.0	13.6	13.0	228
9b	616 — — seulement...								
10	448 — sels ammoniacaux seulement.	476.7	1.68	0.51	0.04	21.2	21.7	42.2	329
11	448 — — et superphosphate.....	554.9	1.35	0.41	0.03	23.4	23.9	45.6	392
12	448 — — et sulfate de soude	636.6	1.47	0.40	0.02	20.2	20.6	41.6	425
13	448 — — et sulfate de potasse....	674.3	2.15	0.67	0.02	21.5	22.2	46.2	454
14	448 — — et sulfate de magnésie..	662.6	2.21	0.54	0.03	20.3	20.9	46.0	446
15	448 — — et mélange minéral....	562.9	2.63	0.77	0.02	17.6	18.4	21.1	397
16	Sans engrais.....	281.1	5.61	1.34	0.01	6.6	7.9	10.8	206

conclusions erronées, si on ne les comparait pas à ceux du tableau B. On voit, dans A, que 448 kilogrammes de sels ammoniacaux distribués au blé ont laissé couler des eaux renfermant $21^{gr},2$ d'azote nitrique, tandis qu'on en trouve : $23^{gr},4$, quand aux sels ammoniacaux sont venus s'ajouter les superphosphates ; il semble donc que les superphosphates ont été sans influence sur l'assimilation de l'azote nitrique ; le tableau B montre cependant qu'il est bien loin d'en être ainsi ; car l'hectare perd : pour 10 : $55^{k},91$, et 41,23 pour 11. Ces résultats contradictoires sont dus à ce que le blé sur 11 est beaucoup plus fort que sur 10, que par suite il évapore davantage, et qu'enfin l'eau qui s'écoule est, par suite de cette évaporation plus forte, plus chargée que celle qui s'échappe de la planche 10.

Quantités d'azote nitrique perdues aux diverses époques de l'année. — Elles sont inscrites au tableau B ; MM. Lawes, Gilbert et Warington ont groupé les prises d'échantillon en quatre séries d'inégale longueur ; on voit que les pertes les plus fortes ont lieu au printemps aussitôt après la distribution des engrais ; bien qu'à ce moment-là le blé soit déjà levé.

On voit également que, bien que la nitrification des sels ammoniacaux soit très facile, elle n'est pas tellement rapide que les parcelles qui ont reçu ces sels ammoniacaux abandonnent au printemps autant d'azote nitrique que celle qui a reçu du nitrate de soude. Un mètre cube d'eau de drainage de la parcelle 9 contient en effet, au printemps, $50^{gr},4$, c'est le chiffre le plus élevé ; cette parcelle 9 est celle qui perd davantage ; à la fin de l'année, elle a abandonné $65^{kil},31$ à l'eau de drainage correspondant à près de 400 kilogrammes de nitrate de soude ; il est bien à remarquer au reste que la dose distribuée comme engrais a été excessive, et infiniment supérieure à celle qu'on emploie d'ordinaire.

La parcelle 15 qui reçoit son sulfate d'ammoniaque à l'automne n'accuse pendant la première période que des pertes minimes ; cette perte est au contraire très forte pendant l'hiver.

De juin jusqu'à la moisson, les pertes d'azote nitrique sont minimes, les plantes sont vigoureuses et retiennent bien les nitrates ; la parcelle 10 où les sels ammoniacaux sont distribués seuls est la seule qui subisse une perte importante.

Pendant l'automne, de la récolte aux semailles, les pertes sont sensibles. Nous retombons là sur le cas examiné à Grignon de juin 89 à juin 90 ; les pertes pendant l'hiver, malgré la présence du jeune blé, sont considérables, elles le sont bien plus encore dans

Tableau B. —Azote nitrique contenu dans un mètre cube d'eau de drainage à différentes époques de l'année et quantité totale d'azote nitrique perdue annuellement par hectare.

Moyenne de trois ans (1878-1881).

NUMÉROS des PARCELLES.	FUMURES DISTRIBUÉES AU BLÉ CHAQUE ANNÉE.	DES SEMAILLES de printemps jusqu'à la fin de mai.	DE JUIN jusqu'à la moisson.	DE LA RÉCOLTE jusqu'aux semailles d'automne.	DES SEMAILLES d'automne aux semailles de printemps.	MOYENNE.	AZOTE PERDU annuellement par hectare et par millim.	AZOTE PERDU par hectare et par an (1879-81).
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	kil.
2	Fumier de ferme	3.6	1.4	6.0	9.5	7.5	76	»
3-4	Sans engrais	3.0	0.1	4.8	5.0	3.9	39	16.73
5	Mélange minéral	2.9	0.2	4.8	5.5	4.2	42	18.68
6	224 kil., sels ammoniacaux et mélange minéral	14.9	0.7	6.0	5.4	5.4	54	25.15
7	448 — — —	27.1	1.4	7.3	5.4	6.8	68	31.71
8	672 — — —	28.2	4.0	13.5	7.5	9.3	93	47.60
9	616 — nitrate de soude et mélange minéral	50.4	9.1	15.0	7.8	12.5	125	65.31
10	448 — sels ammoniacaux seulement	31.6	11.4	12.7	6.9	10.7	107	55.91
11	448 — — et superphosphate	25.8	5.8	9.0	7.7	9.0	90	41.23
12	448 — — et sulfate de soude	22.6	3.7	8.0	7.1	7.9	79	38.79
13	448 — — — de potasse	26.4	1.9	7.3	6.7	7.6	76	36.10
14	448 — — — de magn	31.6	3.4	8.1	7.5	8.5	85	40.89
15	448 — — et mélange minéral	6.7	2.9	7.5	28.1	19.3	193	82.81
16	Sans engrais	3.3	0.1	5.3	5.6	4.5	45	18.40
17	Sels ammoniacaux alternants (1)	29.7	1.8	6.6	5.5	7.1	71	»
18	Engrais minéraux alternants	1.5	0.3	5.6	5.5	4.3	43	»
19	1800 kil. tourteaux	3.7	0.5	7.7	14.0	10.4	104	»

(1) L'année où 17 reçoit les sels ammoniacaux, 18 reçoit les engrais minéraux, et les fumures sont renversées l'année suivante, c'est-à-dire que 18 reçoit les sels ammoniacaux et 17 l'engrais minéral.

les conditions ordinaires, quand la terre reste nue pendant tout l'hiver, ainsi que cela arrive quand les betteraves succèdent au blé.

Si nous passons enfin à la dernière colonne, dans laquelle sont inscrites les pertes subies annuellement par les diverses parcelles, nous voyons que la terre restée constamment sans engrais perd encore de 16 à 18 kilogrammes et que la perte est encore de 18 kilogrammes quand on emploie les engrais minéraux.

La comparaison des parcelles 6, 7, et 8 montre que la perte croît en raison de l'abondance des engrais distribués, et cela bien que les récoltes aient augmenté également en raison de cette quantité d'engrais (1).

Nous ferons remarquer enfin que la parcelle 15 qui reçoit son sulfate d'ammoniaque à l'automne perd 82 kilogrammes d'azote, l'engrais en contenant 89 ; c'est presque la totalité qui disparaît dans les eaux de drainage ; il est manifeste que la distribution des engrais solubles à l'automne doit être évitée.

Bien que les nitrates soient de beaucoup les produits les plus importants qui se trouvent dans les eaux de drainage, il est intéressant de savoir quelles sont les autres matières qu'elles tiennent en dissolution, c'est ce que montre le tableau C qui se rapporte aux eaux recueillies du champ de blé de Rothamsted.

Il est facile de voir à l'examen du tableau C que les trois matières indiquées comme étant bien absorbées par la terre arable ne se rencontrent qu'en faibles quantités par rapport à celles au contraire que les expériences directes ont montré traverser aisément le sol ; c'est ainsi que la soude surpasse toujours la potasse, même dans les eaux écoulées de la parcelle 13 qui cependant a reçu comme engrais du sulfate de potasse ; naturellement, aussitôt que l'engrais distribué renferme de la soude, sa présence s'exagère dans les eaux de drainage, c'est notamment ce qu'on observe pour la parcelle 12 et surtout pour la parcelle 9.

Enfin si on compare les trois dernières colonnes les unes aux autres, on voit que le chlore, l'acide sulfurique traversent aisément le sol, tandis que l'acide phosphorique est énergiquement retenu.

(1) Les résultats ont été en moyenne en hectolitres à l'hectare :

Parcelle 6	21h,7
— 7	29 ,4
— 8	32 ,6
— 9	32 ,6

Ann. agr., t. XI, p. 8.

Tableau C. — Composition des eaux de drainage en grammes par mètre cube. — Champ de blé de Rothamsted.

	FUMURES DISTRIBUÉES AU BLÉ A L'HECTARE CHAQUE ANNÉE.	MATIÈRES TOTALES dissoutes.	CHAUX.	MAGNÉSIE.	POTASSE.	SOUDE.	AZOTE		CHLORE.	ACIDE SULFURIQUE.	ACIDE PHOSPHORIQUE
							AMMONIACAL.	NITRIQUE.			
2	Fumier de ferme, 35000 kilos.....	476.1	147.4	4.9	5.4	13.7	0.16	16.1	20.7	106.1	»
3-4	Sans engrais.....	246.4	98.1	5.1	1.7	6.0	0.12	3.0	10.7	24.7	0.63
5	Mélange minéral.....	326.0	124.3	6.4	5.4	11.7	0.13	5.1	11.1	66.3	0.91
6	224 kil., sels ammoniacaux et engrais minéraux	407.6	143.9	7.9	4.4	10.7	0.20	8.5	20.7	73.3	1.54
7	448 — sels ammoniacaux et engrais minéraux	492.4	181.4	8.3	2.9	10.9	0.07	14.0	26.1	90.1	0.91
8	672 — sels ammoniacaux et engrais minéraux	548.4	197.3	8.9	2.7	10.6	0.27	16.9	39.4	89.7	0.17
9	616 — nitrate de soude et engrais minéraux.....	423.9	118.1	5.9	4.1	56.1	0.24	18.4	12.0	41.0	»
10	448 — sels ammoniac. seulement...	406.9	154.1	7.4	1.9	7.1	0.08	13.9	32.0	44.4	1.44
11	448 — — et superphosphate.....	425.9	165.6	7.3	1.0	6.6	0.17	15.3	31.6	54.3	1.66
12	448 — — et sulfate de soude.....	530.9	191.6	6.6	2.7	24.6	0.30	15.1	30.9	96.7	1.26
13	448 — — et sulfate de potasse	544.3	201.4	9.3	3.3	6.1	0.16	17.4	36.6	86.9	1.09
14	448 — — et sulfate de magnésie...	598.6	226.7	11.6	1.0	5.6	0.09	19.2	39.4	99.7	1.01
15	448 — — et mélange minéral	585.3	201.1	7.9	5.3	14.3	0.11	24.2	24.6	123.9	1.54
16	Sans engrais.....	286.7	117.1	5.3	2.4	5.1	0.09	7.0	31.4	21.9	0.91

L'étude des eaux de drainage nous conduit donc à ce résultat fort important : l'acide phosphorique et la potasse ne disparaissent du sol que par l'action des récoltes, et on peut calculer la teneur du sol en ne tenant compte que des apports par les engrais et des prélèvements par les récoltes. Il en est tout autrement pour les engrais azotés ; ceux-ci se partagent en trois fractions inégales, l'une est assimilée par les récoltes, l'autre est retenue dans le sol, la troisième et non la moins importante est enlevée par les eaux de drainage ; or comme l'azote est l'élément le plus cher et le plus précieux, il est très important de connaître la fraction qui reste dans le sol, où avec l'acide phosphorique et la potasse elle constitue ce qu'on désigne sous le nom d'*engrais en terre*.

§ 142. — Sur l'engrais en terre. — Résidus laissés par les fumures antérieures.

Dans un grand nombre de cas le cultivateur a intérêt à savoir quelle est la fraction de l'engrais distribué qui persiste dans le sol après une ou plusieurs récoltes.

Cette connaissance lui est nécessaire non seulement pour régler les fumures à distribuer de nouveau, mais aussi pour servir de bases aux accords qui surviennent à la fin de bail entre fermier et propriétaire, quand il s'agit d'établir l'indemnité auquel a droit ce cultivateur pour l'engrais qu'il laisse dans le sol.

On sait que le principe de cette indemnité a été l'objet de longues discussions et qu'il importe que la question soit complètement élucidée, afin de mettre un terme aux pratiques actuelles qui sont extrêmement fâcheuses.

Quand un fermier voit arriver la fin d'un bail qu'il sait ne devoir pas être renouvelé, il a le désir légitime de récupérer les avances d'engrais qu'il a faites au sol en cultivant des plantes épuisantes : betteraves et céréales, sans les soutenir par aucun apport d'engrais nouveau ; il abandonne ainsi un sol fatigué sur lequel le fermier entrant devra faire de lourdes dépenses d'engrais, avant de le ramener à l'état où il se trouvait quand le fermier précédent a commencé à l'épuiser.

Pour un petit bail de neuf ans, il se trouve ainsi que pendant les trois premières années les rendements sont médiocres parce que la terre a été appauvrie, ils sont bons pendant les trois années suivantes, puis arrive la période d'épuisement pendant laquelle

les récoltes baissent de nouveau, puisqu'elles sont obtenues sans apport d'engrais.

Il est manifeste que si le principe de l'indemnité au fermier sortant était établi, les rendements resteraient élevés pendant toute la durée du bail, puisque le fermier n'aurait plus d'intérêt à épuiser le sol sachant qu'il lui sera tenu compte des engrais qu'il laisse derrière lui (1).

Toutefois pour que cette indemnité puisse être calculée, il faut posséder des connaissances qui en général nous font défaut. Nos prédécesseurs croyaient que l'engrais en terre est représenté par la différence entre l'engrais distribué et celui qui a été prélevé par les récoltes ; nous savons aujourd'hui que si on peut jusqu'à un certain point calculer les quantités d'acide phosphorique et de potasse qu'un sol renferme en ne tenant compte que de son état primitif, des engrais et des récoltes, car ces éléments ne sont pas entraînés dans les eaux de drainage, pour l'azote cette opinion est absolument inexacte, une fraction importante de la fumure azotée ayant disparu dans les eaux de drainage, tandis que d'autre part l'azote atmosphérique se fixe dans le sol en proportion variable avec la nature des plantes cultivées et les façons qu'elles exigent.

Il est clair que le calcul des différences entre les matières introduites et celles qui ont disparu est absolument impossible et que pour nous faire un opinion sur l'état dans lequel se trouve un sol après un certain nombre de récoltes, nous ne pouvons avoir recours qu'à l'observation directe ; cela est d'autant plus nécessaire que si les procédés de dosage des éléments bruts contenus dans le sol sont exacts et faciles à mettre en pratique, nous n'avons plus que des connaissances très incomplètes sur l'état assimilable ou non de ces éléments, qu'enfin la plupart des auteurs n'ont tenu nul compte de l'humus qui, d'après ce que nous avons vu plus haut, est l'élément qui disparaît le plus vite dans la culture sans engrais et celui cependant qui ne peut faire défaut sans que les rendements de certaines espèces décroissent rapidement. Il importe donc de réunir et de discuter tous les renseignements que nous possédons aujourd'hui sur cette importante question.

Sur les résidus laissés par les fumures d'engrais azoté. — MM. Lawes et Gilbert ont cherché à établir d'abord qu'elle était la fraction de l'azote contenue dans l'engrais distribué qui était uti-

(1) Voyez le *Congrès international d'agriculture de* 1889, p. 234-306 et *passim.*

lisée par la récolte. La méthode employée pour obtenir ce premier chiffre est la suivante : on compare le poids des récoltes qui ont crû sur des parcelles qui ont reçu seulement des engrais minéraux à celui des récoltes recueillies sur des parcelles qui, outre ces engrais minéraux, recevaient un engrais azoté ; les récoltes que fournissent ces dernières sont plus fortes, on soustrait du poids de la récolte obtenue sur la parcelle qui a reçu l'engrais azoté, le poids de la récolte fournie par la parcelle qui a reçu seulement les engrais minéraux, on a ainsi le poids de la fraction de la récolte qu'on peut attribuer à l'engrais azoté employé. Si on détermine la teneur en azote de cette récolte, on calcule aisément la quantité d'azote contenue dans l'excédent de récolte, et si enfin on compare cet excédent à la teneur en azote de l'engrais, on sait quelle est la fraction de celui-ci qui est retrouvée dans l'excédent de récolte.

MM. Lawes et Gilbert ont donné sur ce point des renseignements du plus haut intérêt résumés dans le tableau D.

Ce tableau est fort instructif, on voit d'abord qu'un tiers environ de l'azote distribué sous forme de sel ammoniacal sert directement à l'accroissement de la récolte quand la dose employée reste minime, et nous avons reconnu (note page 460), en effet, que jusqu'à une certaine limite, la récolte croît avec la quantité d'engrais distribué, mais déjà quand la dose atteint 676 kilos de sel ammoniacal, une fraction un peu moindre est utilisée et quand elle s'élève à 896 kilos, la fraction de l'azote qui se retrouve dans le supplément de récolte n'est plus guère que du quart de la quantité distribuée ; il est bien à remarquer que l'azote nitrique a été utilisé beaucoup plus complètement, près de la moitié se retrouve dans le supplément de récolte.

Quand, au lieu d'employer des sels ammoniacaux ou du nitrate de soude, on a fait usage de fumier de ferme, la fraction utilisée est considérablement réduite.

Pour l'orge et pour l'avoine la fraction utilisée est d'environ la moitié de l'engrais distribué sous forme de sel ammoniacal ou de nitrate, mais seulement le quart quand l'azote a été distribué sous forme de tourteaux.

Peut-on supposer que la fraction de l'azote non retrouvé dans le supplément de récolte a servi à enrichir le sol, et un fermier qui a fait usage d'engrais solubles sera-t-il en droit de réclamer la valeur des deux tiers ou de la moitié des sels ammoniacaux ou de nitrate de soude distribués quand il cessera de cultiver la terre qui les a reçus?

Tableau D. — Azote retrouvé dans l'augmentation de récolte.

Numéros des parcelles.	ENGRAIS DISTRIBUÉ PAR HECTARE ET PAR AN, CONTENANT :	AZOTE.		P. 100 D'AZOTE DANS L'ENGRAIS	
				Retrouvé.	Non retrouvé.
	BLÉ PENDANT 20 ANS (1852-1871).				
6	Engrais minéraux complexes et 224 kilos sels ammoniacaux renfermant.....	45.72		32.4	67.6
7	— — 448 — —	91.44		32.9	67.1
8	— — 672 — —	137.16		31.5	68.5
16	— — 896 — —	182.88		28.5	71.5
9(*a*)	— 616 kilos nitrate de soude	91.84		45.3	54.7
2	14 224 kilos fumier de ferme à l'hectare.....	»		14.6	85.4
	ORGE PENDANT 20 ANS (1852-1871).				
4A	Engrais complexes et 224 kilos sels ammoniacaux renfermant.....	45.72		58.1	51.9
4AA	Engrais minéraux complexes et 448 — —	91.44	6 ans (1852-57)	49.8	50.2
	224 — —	45.72	10 ans (1858-67)		
	308 kilos azotate de soude.....	45.72	4 ans (1868-71)		
4C	Engrais minéraux complexes et 2240 — tourteaux.....	106.00	6 ans (1852-57)	36.3	63.7
	1120 — —	53.00	14 ans (1858-71)		
	AVOINE 3 ANS.				
4	Engrais minéraux et 448 kilos sels ammoniacaux renfermant	91.44		51.9	48.
5	— 618 — nitrate de soude.....	91.84		50.4	49 6

Nous allons voir que cet azote non retrouvé dans l'augmentation de la récolte existe pour la plus grande part dans les eaux de drainage et que par conséquent il est définitivement perdu.

C'est ce qui ressort du tableau E dans lequel MM. Lawes et Gilbert ont non seulement déterminé la fraction de l'azote retrouvée dans le supplément de récolte, mais en outre celle qui se trouve dans les eaux de drainage. Ce tableau indique en outre quel est l'ensemble des pertes qu'entraîne la culture du blé. Quand l'engrais azoté fait défaut, c'est la matière organique du sol qui entre en jeu ; on voit qu'elle a même fourni un excédent de 10 kilogrammes d'azote, quand les sels ammoniacaux n'ont été employés qu'en faible quantité.

On remarquera que les 96 kilogrammes d'azote distribués sont bien mieux utilisés par les récoltes quand ils sont additionnés d'engrais minéraux. Quand ceux-ci font défaut (parcelle 10) : 48^{k},4 d'azote passent dans les eaux de drainage, 36,6 seulement sont utilisés, tandis que la récolte utilise 48^{k},6, quand aux superphosphates s'ajoute du sulfate de potasse et 49^{k},7 quand on a distribué du sulfate de magnésie ; ce dernier fait paraîtrait singulier, si on n'avait vu plus haut que le sulfate de magnésie dissout très bien la potasse contenue dans le sol et que par suite son addition assure l'alimentation du blé à la fois en potasse et en magnésie. Visiblement, une fraction très importante de l'azote introduit est toujours entraînée par les eaux de drainage, mais les pertes sont d'autant moindres, ou réciproquement la partie utilisée d'autant plus forte, qu'aux engrais azotés sont joints les engrais minéraux.

La plus grande partie de l'azote non retrouvé dans la récolte se trouve donc dans les eaux de drainage, MM. Lawes et Gilbert estiment, en outre, que les parties non retrouvées ont été entraînées dans les eaux non recueillies. En effet, le champ de Rothamsted repose sur un sous-sol de craie et le drainage naturel fonctionne en même temps que les drains eux-mêmes, de telle sorte qu'une partie de l'eau qui traverse le sol s'échappe sans qu'on puisse tenir compte de l'azote qu'elle entraîne.

Au reste, si la partie de l'azote non retrouvée dans les eaux de drainage était fixée dans le sol, on constaterait dans les parcelles qui ont reçu des engrais un enrichissement sensible, or c'est ce qui n'a pas eu lieu ; les auteurs ont en effet constaté la teneur suivante en azote du sol des diverses parcelles :

Tableau E. — CULTURE CONTINUE DU BLÉ.

Azote contenu dans l'engrais et retrouvé dans la récolte ou les eaux de drainage.

Moyenne de trente années (1851-1881).

	ENGRAIS MINÉRAUX ET				96 KILOGR. D'AZOTE A L'ÉTAT DE						
	RIEN.	SELS AMMONIACAUX CONTENANT			SELS AMMONIACAUX ET						NITRATE
	Parcelle 5.	48 kil. azote parcelle 6.	96 kil. azote parcelle 7.	144 kil. azote parcelle 8.	rien parcelle 10.	superphosphate parcelle 11.	superphosphate et sulfate de soude parcelle 12.	superphosphate et sulfate de potasse parcelle 13.	superphosphate et sulfate de magnésie parcelle 14.	engrais complet parcelle 7.	engrais complet parcelle 9.
Azote retrouvé dans la récolte...	kil. 22.7	kil. 36.7	kil. 51.7	kil. 64.3	kil. 36.6	42.6	kil. 47.6	kil. 48.9	kil 49.7	kil. 51.7	kil. 51.8
Azote retrouvé dans l'eau de drainage.....	13.4	21.3	34.7	47.5	48.4	45.4	40.9	42.1	44.2	34.7	40.0
Total.....	36.1	58.0	86.4	111.8	85.0	88.0	88.5	91.0	93.9	86.4	91.8
Non retrouvé.....	»	+10.0	9.6	32.2	11.0	8.0	7.5	5.0	2.1	9.6	4.2

Azote existant dans le sol des différentes parcelles en octobre 1865.

NUMÉROS des parcelles.	FUMURES DISTRIBUÉES.	PAR KILO.	PAR HECTARE.	EXCÈS SUR 5.
		gr.	kilos.	kilos.
2	35 000 kil. de fumier de ferme.....	1.882	4848	1966
3	Sans engrais.....	1.090	2808	—75
5	Engrais minéraux seulement.....	1.119	2883	»
7	448 kil. sels ammoniacaux et engrais minéraux.....	1.230	3168	286
9a	616 — nitrate de soude et engrais minéraux.....	1.232	3174	291
10	448 — sels ammon. depuis 1845.....	1.108	2854	—29
11	448 — — et superphosphate....	1.171	3016	133
12	448 — — superphosphate et sulfate de soude.....	1.208	3111	228
13	448 — — superphosphate et sulfate de potasse.....	1.206	3107	224
14	448 — — superphosphate et sulfate de magnésie...	1.197	3083	200
16	896 — — et engrais minéraux..	1.264	3256	373

Les auteurs ont répété en 1881 les dosages d'azote exécutés en 1865, sur les diverses parcelles du champ de blé et ont trouvé des chiffres analogues aux précédents ; ils insistent avec force sur le point suivant : toujours l'excès d'azote constaté est en raison directe de la richesse des récoltes, de leur abondance, et inverse de la perte calculée par la composition des eaux de drainage ; l'excès est dû principalement aux débris laissés dans le sol par la culture sous forme de racines, de chaumes et peut-être aussi de graines tombées au moment de la maturation. C'est ce qui apparaît clairement quand on compare les nombres de 1881 à ceux de 1865 : pour les parcelles à l'ammoniaque, ils sont presque identiques, un peu plus forts en 1881 sur les planches où la culture est la plus avantageuse, un peu plus faibles sur celles où le rendement est moindre (1).

Il y a là une notion nouvelle d'un haut intérêt, ce ne sont pas les propriétés absorbantes du sol qui entrent en jeu pour retenir une partie de l'azote de l'engrais ; ce qui persiste dans le sol, ce n'est pas de l'ammoniaque, c'est de la matière organique d'autant plus abondante que la récolte aura été plus forte ; on voit, en effet, que la matière organique plus difficile à nitrifier que les sels ammoniacaux persiste dans le sol et la parcelle qui reçoit chaque année

(1) *Ann. agron.*, t. VIII, p. 409.

du fumier de ferme est la seule qui présente une richesse notable.

Influences qu'exercent sur les récoltes les fumures antérieures d'engrais azotés solubles. — MM. Lawes et Gilbert ne se sont pas bornés aux études précédentes; ils ont voulu les fortifier par des essais directs sur le sol, entrepris de façon à voir si les résidus laissés par les cultures antérieures sont en relation étroite avec la nature des engrais distribués et la propriété que possède le sol de les retenir ou simplement, comme il vient d'être dit, avec l'abondance des récoltes que ces engrais ont fournies.

Si ce sont les propriétés absorbantes qui maintiennent dans le sol, les sels ammoniacaux, par exemple, la fertilité des parcelles qui les ont reçus sera d'autant plus grande que la quantité distribuée aura été plus forte, elle sera, en outre, bien plus assurée que si les engrais employés ont été des nitrates qui se laissent très bien entraîner par les eaux de drainage. Si ce sont au contraire les résidus organiques qui persistent, on ne trouvera guère de différence entre les parcelles qui auront reçu les nitrates et celles qui auront été fumées aux sels ammoniacaux.

Pour décider entre ces deux hypothèses, MM. Lawes et Gilbert comparent d'abord les rendements de diverses parcelles cultivées les unes en orge, les autres en blé et amendées avec des poids différents de sels ammoniacaux (1).

Deux parcelles voisines reçoivent la même dose d'engrais minéraux pendant six ans, l'une, 4AA, reçoit en outre 448 kilos de sels ammoniacaux chaque année, tandis que sa voisine 4A n'en a que la moitié, 224 kilos; en 1858, après six ans de ce traitement inégal, les deux parcelles sont ramenées à la même fumure; comment le grand excès de sel ammoniacal donné sur 4AA l'a-t-il enrichie? C'est ce que va nous apprendre la différence de rendement de ces deux parcelles quand elles reçoivent chaque année la même dose de sel ammoniacal; le supplément de récolte est en moyenne, pour la parcelle 4AA, de $1^{hect},41$ de grain et de 252 kilos de paille; la différence est donc sensible, mais elle n'est pas plus forte pendant les premières années qu'à la fin des observations; en effet, en 1858, nous trouvons que 4AA donne $4^{hect},5$ de grain de plus que 4A et on pourrait peut-être l'attribuer à un résidu ammoniacal; mais en 1866 on retrouve cet excès de $4^{hect},6$; c'est donc un enrichissement qui est durable. Or, quand on se rappelle avec quelle rapidité les sels

(1) *The Journal of the R. agr. Soc. of Engl.*, 2e sér., t. IX, 1873. — *Ann. agron.*, t. I, p. 16.

ammoniacaux se nitrifient, on ne peut supposer qu'un excès de sel ammoniacal se fasse sentir huit ans après son épandage, l'excès de récolte doit donc être attribué, non pas à l'action fertilisante d'un sel soluble, mais bien à une matière qui persiste dans le sol, à une matière organique.

On a une nouvelle preuve de cette manière de voir dans une autre série d'expériences exécutées sur deux parcelles qui ont encore porté de l'orge, mais ont reçu de l'azotate de soude pendant cinq ans, de 1853 à 1857 : l'une, 1N, à la dose de 300 kilos, l'autre, 2N, à celle de 600 kilos; cette dernière a été réduite ensuite à la dose de 300 kilos comme 1N; la comparaison qui sert à montrer l'influence des résidus laissés par la forte fumure de 2N dure jusqu'en 1871, c'est-à-dire que, de 1857 à 1871, les deux parcelles reçoivent la même dose d'engrais azoté; or en moyenne 2N bien que recevant, nous le répétons, la même fumure que sa voisine, la surpasse de $2^{hect},7$ de grains et de 250 kilos de paille, ce n'est certainement pas un résidu de nitrate de soude qui détermine cette plus-value, car le nitrate de soude est facilement entraîné dans les eaux de drainage et on trouve les plus forts excédants : $7^{hect},2$ à la septième récolte et un autre encore très fort, $5^{hect},4$, en 1870.

Ainsi, contrairement à l'opinion généralement répandue, les bonnes récoltes obtenues à l'aide d'engrais salin, laissant dans le sol des résidus abondants, épuisent moins le sol que les récoltes médiocres; les résidus persistent pendant plusieurs années et maintiennent une fertilité d'autant plus grande qu'ils sont plus abondants.

Résidus laissés par les cultures de fumier de ferme. — Travaux exécutés au champ d'expériences de Grignon. — Puisque ce sont les résidus organiques, les débris des récoltes plus abondants sur les terres qui ont porté de bonnes récoltes, dans les cas où l'on a employé des engrais salins, qui constituent l'*engrais en terre*, on conçoit que les fumures de fumier de ferme puissent être plus durables que les fumures aux engrais chimiques, particulièrement sur les sols où le fumier exerce une action très favorable, c'est ce que nous avons observé à bien des reprises différentes au champ d'expériences de Grignon.

De 1875 à 1879, pendant cinq ans, un certain nombre de parcelles fut employé à la culture continue des pommes de terre; les engrais distribués n'exercèrent qu'une action médiocre, et on résolut de chercher les résidus qu'ils avaient laissés, en maintenant

pendant plusieurs années sur ces parcelles une culture de blé de Bordeaux sans lui fournir d'engrais, de façon que les récoltes ne fussent soutenues que par les résidus de fumures antérieures. On obtint les nombres inscrits au tableau suivant (1).

CULTURE DU BLÉ DE BORDEAUX.

Rendements moyens en quintaux métriques des récoltes de grains obtenues sous l'influence des résidus laissés par diverses fumures.

FUMURES DISTRIBUÉES LES ANNÉES PRÉCÉDENTES.	1880.	1881.	1882.	1883.	MOYENNE des QUATRE ANNÉES.
Sans engrais depuis 1875.....	25.00	16.40	21.90	11.70	18.75
Fumier enterré.....	34.06	23.92	23.44	17.42	24.71
— en couverture.....	27.00	16.00	20.00	15.00	19.50
Azotate de soude.....	27.75	21.00	21.50	14.00	21.06
Sulfate d'ammoniaque.....	23.30	18.60	20.00	13.50	19.95
Engrais Souffrice (viande).....	34.00	21.60	23.00	14.00	23.15
— Coigniet (cuir).....	26.00	23.30	20.00	13.00	20.50
Moyenne générale.....	28.53	21.00	21.07	14.07	21.10

A Grignon, l'azotate de soude réussit mieux que le sulfate d'ammoniaque et cette différence persiste dans les arrière-fumures; les récoltes obtenues sous l'influence des engrais salins sont cependant bien inférieures à celles que donne le fumier enterré qui conserve le premier rang pendant les quatre années qu'a duré l'expérience. L'engrais de viande provenant des usines Souffrice qui n'avait pas produit grand effet sur les pommes de terre qui l'avaient reçu en 1879 a exercé, au contraire, une influence marquée en 1880; cette année-là, il est très supérieur à l'engrais de cuir préparé par les usines Coignet, mais il n'en a plus été de même en 1881, où l'engrais Coignet, lent à décomposer, a donné $23^{qtx},2$ contre $21^{qtx},6$ donné par l'engrais Souffrice.

On trouve une nouvelle preuve de la persistance dans le sol des engrais organiques, dans la culture du sainfoin établie en 1879 sur des parcelles qui avaient porté les années précédentes des betteraves (1875-76 et 77) et du maïs fourrage (1878), elles ont fourni les récoltes suivantes :

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 101.

Sainfoin alimenté par les résidus laissés par les fumures antérieures.

	Sans engrais. kilos.	Fumier enterré. kilos.	Fumier en couverture. kilos.	Azotate de soude. kilos.	Sulfate d'ammoniaque. kilos.
1879.....	5300	7380	4250	5820	4878
1880.....	7915	10862	10486 (1)	8371	7842
1881.....	4375	6840	2912 (1)	4593	3900
Moyenne....	5863	8360	5879	6194	5540

L'influence des arrière-fumures de fumier est donc encore là extrêmement sensible, le fumier enterré les années précédentes a laissé le sol dans un état très favorable, les récoltes venues sur une arrière-fumure de nitrate de soude sont à peine supérieures à celles de la parcelle sans engrais, et celles qui se sont développées sur une arrière-fumure de sulfate d'ammoniaque leur sont inférieures.

Ce qu'il y a de fort curieux, c'est que cette influence de la fumure au fumier persiste encore après plusieurs années; les parcelles cultivées en sainfoin ont été transformées en prairies permanentes de graminées en 1884 et la somme de récoltes de foin obtenues pour les cinq années a été la suivante :

Foin récolté sur diverses parcelles cultivées sans engrais de 1884 à 1888.

Nature des arrière-fumures.	Pour les cinq ans.	Pour une année (moyenne).
Fumier.....	25.820	5.145
Sans engrais	21.550	4.310
Nitrate de soude.....	22.430	4.486
Sulfate d'ammoniaque.....	21.030	4.206
Superphosphate	21.280	4.256

Ainsi, si les fumures des engrais salins n'ont plus eu d'influence sensible, celle du fumier enterré est encore marquée; en 1888, les parcelles au fumier surpassaient encore de 1,000 kilos de foin les parcelles sans engrais bien que la distribution du fumier eut cessé dès 1879.

§ 143. — Résumé. — Influence des propriétés absorbantes sur la composition de l'engrais en terre.

Les notions acquises dans ce chapitre nous montrent que l'acide phosphorique, la potasse et la matière organique sont bien retenus par la terre arable, mais qu'il n'en est plus ainsi des engrais azotés

(1) On a distribué à cette parcelle du sulfate de potasse en 1880 et en 1881.

solubles : l'ammoniaque étant très rapidement nitrifiée dans un très grand nombre de sols disparaît presque aussi vite que les nitrates.

Il arrive cependant que lorsque ces engrais azotés salins ont été efficaces, lorsqu'ils ont provoqué une récolte abondante, le sol se trouve enrichi d'une faible fraction de l'azote introduit; c'est qu'en effet, dans ce cas les résidus organiques, feuilles, chaumes, racines, ont donné à cette fraction de l'azote des engrais solubles, une forme sous laquelle il échappe à la déperdition; d'où il faut conclure que les récoltes les plus abondantes *obtenues sous l'influence des engrais salins* sont celles qui exercent sur le sol l'action la moins épuisante en azote; si en effet la récolte est faible, l'engrais non directement utilisé est entièrement perdu dans les eaux de drainage (voyez page 467). En revanche ces récoltes prélèveront sur le sol d'autant plus d'acide phosphorique et de potasse que leur poids sera plus élevé.

Les résidus azotés organiques laissés par les engrais salins ne sont cependant que minimes, ce sont les résidus provenant de l'emploi des engrais organiques qui ont seuls une influence marquée sur les récoltes postérieures; c'est ce qu'ont très bien observé les cultivateurs qui maintiennent dans la composition de leurs fumures le premier rang au fumier de ferme et aux tourteaux, n'employant les engrais salins qu'en proportion restreinte pour élever le rendement de la récolte qui les reçoit.

Dans l'établissement des indemnités au fumier sortant, s'il faut tenir compte des fumures organiques, de l'apport des phosphates et des sels de potasse, on ne saurait guère accorder aux faibles résidus organiques développés par l'emploi des sels ammoniacaux ou des nitrates une valeur sensible.

CHAPITRE VI

STÉRILITÉ DES TERRES ARABLES.

Nous avons énuméré dans les chapitres précédents les causes qui déterminent la fertilité des terres, nous avons insisté sur l'influence qu'exercent la bonne circulation de l'air et de l'eau, l'abondance des aliments et nous ne voulons pas y revenir ici, mais étudier au contraire les causes qui amènent la stérilité. Elles peuvent être rapportées soit à une mauvaise constitution physique

et notamment au manque d'épaisseur de la couche active, soit à la présence de matières nuisibles, soit à l'épuisement des principes utiles aux végétaux par suite d'un mauvais système de culture.

§ 144. — Stérilité par mauvaise constitution physique du sol.

Nous avons vu dans le chapitre II de cette seconde partie que la fertilité n'est assurée que par une juste proportion des divers éléments constituant le sol; aussitôt qu'un des principes prédomine la fertilité diminue et si l'un deux constitue seul la couche superficielle, la culture devient impossible, la stérilité est complète; nous avons discuté les différents cas qui peuvent se présenter dans le chapitre II et nous y renvoyons le lecteur, mais il n'en est plus de même pour le manque d'épaisseur du sol et il importe d'indiquer comment dans certains cas on peut y remédier.

Stérilité par manque d'épaisseur de la couche arable. — Quand on parcourt une contrée où les routes sont de temps à autre tracées à un niveau plus bas que les sols cultivés, on voit nettement sur les talus l'épaisseur de la couche arable, elle est en relation étroite avec l'aspect des récoltes, même quand la roche sous-jacente est meuble, *à fortiori* quand elle est dure et compacte, les causses de la Lozère presque désertés ne montrent dans les talus du chemin de fer que quelques centimètres de terre rougeâtre au-dessus des roches cristallisées du sous-sol. La mauvaise partie de la Champagne est stérile par suite de la faible épaisseur de la couche arable qui laisse par places apparaître la craie sous-jacente.

Une terre qui manque d'épaisseur est absolument soumise aux influences atmosphériques, elle est notamment incapable de résister à la sécheresse. A Grignon, la terre de la défonce n'a guère que 20 centimètres au-dessus de la craie, elle ne donne de récoltes passables que dans les années humides. Il en est tout autrement d'une terre profonde; elle conserve dans ses couches inférieures de précieuses réserves d'humidité et de matières alimentaires.

En juillet 1870, après une sécheresse prolongée, MM. Lawes et Gilbert ont prélevé des échantillons de terre à des profondeurs croissantes dans le sol d'une prairie de Rothamsted (1). La déter-

(1) Les nombres que nous citons sont empruntés au mémoire : *Influence de la sécheresse de* 1870 *sur les récoltes* (*), et relatifs à la parcelle restée sans engrais; les racines des plantes médiocrement vigoureuses que portait cette parcelle n'ont pu

(*) *Ann. agron.*, t. I, p. 251 et 551.

mination d'humidité y donne un très bel exemple des réserves que conservent les sols profonds.

	Eau dans 100 parties de terre.
Première couche de 22cc,5	10.83
Deuxième couche	13.24
Troisième couche	19.23
Quatrième couche	22.71
Cinquième couche	24.28
Sixième couche	25.07

On doit encore à ces éminents agronomes une autre détermination également intéressante : « La sécheresse et la chaleur qui régnèrent pendant les mois de juin et de juillet 1868 furent telles qu'il est impossible d'imaginer des conditions plus favorables, pour étudier l'influence de l'absence de pluie sur le sol, que celles qui se rencontrèrent pendant l'été de cette année. A la fin de juillet on préleva les échantillons sur diverses parcelles... » Nous donnons ceux qui sont relatifs à la parcelle restée sans engrais qui fournit cette année-là 14kil,4 de grain à l'hectare.

	Eau pour 100 parties.
Première couche de 7cc,5	4.05
Deuxième —	7.20
Troisième —	8.91
Quatrième —	10.65
Cinquième —	11.25
Sixième —	13.20
Septième —	14.03
Huitième —	15.09
Neuvième —	16.84
Dixième —	18.03
Onzième —	14.64
Douzième —	15.44

Toutes ces ressources manquent à un sol qui n'offre aux racines qu'un couche meuble de faible épaisseur ; aussi très souvent ces terres sont-elles incapables de porter des cultures herbacées dont les racines ne sont pas assez puissantes pour s'enfoncer dans les crevasses du sous-sol et y puiser l'eau qui s'y est infiltrée ; il n'en est plus ainsi des arbres et de la vigne. Avant l'invasion du phylloxéra, on voyait dans notre région méridionale des coteaux pierreux, arides, qui auraient été incapables de nourrir uue culture annuelle, couverte de vignes verdoyantes.

Les terres profondes renferment en outre une quantité de matières alimentaires considérables qui manquent aux sols à faible épaisseur ; quand on procède, en effet, à l'analyse de diverses couches d'une bonne terre, on y trouve des proportions notables

atteindre les couches profondes qui ont gardé leurs réserves d'humidité ; il n'en a plus été de même des plantes qui ont reçu du nitrate de soude, les racines ont atteint les profondeurs et la récolte a été excellente (Voyez 3e partie, *Emploi du nitrate de soude*).

d'azote combiné : Isidore Pierre a trouvé par kilogramme dans une terre de la plaine de Caen :

			Azote combiné par kilogr.
Première couche de la surface à	25 cent.		1gr,732
Deuxième	—	50 —	1 ,008
Troisième	—	75 —	0 ,765
Quatrième	—	1 mèt.	0 ,837

A Grignon sur la pièce des 26 arpents, qui occupe le fond de la vallée, où depuis des siècles se sont accumulées les terres meubles entraînées par les eaux aux deux versants des plateaux et qui s'étend du chemin de Chantepie à l'étang, j'ai trouvé en 1867 :

	Azote combiné par kilogr.
A la surface	2gr,040-2gr,020
A 0m,80	1 ,600
A 0m,90	1 ,500
A 1 mètre	1 ,060
A 1m,60	1 ,090

Si on se rappelle que sur cette masse d'azote combiné une faible fraction est assimilable, on conçoit combien les plantes seront placées dans une condition avantageuse si leurs racines s'étendant dans un parallélipipède de terre d'une grande hauteur vont y glaner les faibles proportions de principes assimilables qu'il renferme. On estime qu'un pied de différentes espèces occupe dans des cultures normales les poids de terre suivants :

Espèces.	Poids de la terre.
Haricot nain	29 kilogr.
Pomme de terre	86 —
Tabac	215 —
Houblon	1334 —

Si la terre est peu épaisse, les plantes devront être très éloignées les unes des autres pour que leurs racines trouvent à s'étaler dans les poids précédents; si la couche est profonde, ces poids seront obtenus non plus par les dimensions des surfaces, mais par celles de la hauteur du prisme dévolu à chacune d'elles, elles seront plus rapprochées et la récolte plus abondante. Une différence quelque peu sensible sur l'épaisseur de la couche arable se fait déjà sentir dans les rendements; la terre du champ d'expériences à Grignon repose sur la craie, dont la surface n'est pas absolument plane; on trouve cette craie sous quelques-unes des parcelles plus vite que

sous les autres, les récoltes de betteraves sont toujours notablement plus faibles dans les premières que dans les secondes.

Il y a déjà bien des années (1862), j'ai eu occasion d'analyser des terres noires de Russie (1) qui portent indéfiniment des récoltes de blé sans recevoir d'engrais; en comparant leur composition à celle d'une terre de la Brie, qui n'est fertile qu'autant qu'elle est bien fumée, je ne trouvai ni dans la teneur en azote ni dans celle d'acide phosphique l'explication de leur différence de fertilité; cette différence n'apparut que lorsqu'on tint compte de la profondeur de ces deux terres; or le tchernoizem a souvent une profondeur de plusieurs mètres, tandis que dans la terre de la Brie considérée on trouvait une couche argileuse à 30 centimètres environ; les nombres par lesquels il convient de multiplier la composition d'un kilogramme pour avoir le stock de matières utiles que présente la surface d'un hectare sont donc très différents les uns des autres, c'est à la suite de cette étude que je suis arrivé à formuler cette proposition : *deux terres inégalement fertiles diffèrent souvent plus par leur épaisseur que par leur composition.*

C'est encore ce qu'on observe dans la Limagne d'Auvergne; les terres s'y louent 200 francs l'hectare, bien qu'elles ne fournissent que des récoltes moyennes de 25 à 30^{qtm} de blé et de 25 à 30 tonnes de betteraves; à l'analyse, elles ne montrent pas une richesse excessive, mais la couche est d'une telle épaisseur, que les plantes y trouvent une alimentation suffisante, quand bien même on ne fait aucune dépense d'engrais. Le prix de location n'est très élevé, que parce qu'il comprend en quelque sorte le prix habituel des fumures.

Ce point étant acquis, une terre n'étant fertile, capable de porter de grandes récoltes, qu'autant que les racines peuvent s'enfoncer dans un puissant cube de terre, il reste à savoir comment cette épaisseur peut être augmentée; il est visible qu'elle ne peut l'être qu'en incorporant à la couche arable une partie du sous-sol, ou en faisant arriver à la surface une nouvelle couche de terre; sur les plateaux, la première méthode s'impose; elle a été mise en pratique dans tous les pays où s'est introduite la culture de la betterave, qui exige un sol profond; pour augmenter l'épaisseur du sol actif on a construit des charrues puissantes remuant un cube de terre considérable.

(1) *Bulletin de la Société chimique*, p. 8, 1er fascicule.

Si le défoncement, l'ameublissement du sous-sol est toujours avantageux, l'incorporation du sous-sol au sol actif, par le travail d'une puissante charrue, ne doit pas être entrepris sans précautions, particulièrement quand il s'agit de l'incorporation d'un sous-sol argileux à une terre enrichie depuis de longues années par les apports d'engrais ; il est facile d'en concevoir la raison, quand on se rappelle ce qui a été dit sur les propriétés absorbantes des terres arables; ces propriétés absorbantes entrent en jeu sur certaines matières, ammoniaque, acide phosphorique, potasse et les enlèvent à l'eau qui les tient en dissolution, cette absorption n'est pas cependant indéfinie, nous avons vu (page 433) qu'il se fait un partage entre l'eau et la terre ; celle-ci se sature, les affinités capillaires s'affaiblissent à mesure qu'elles sont satisfaites. Les cultivateurs savent très bien en effet que les engrais, distribués à un sol argileux, n'exercent pas dans les premières années tout l'effet qu'on est en droit d'en attendre ; ce n'est que lorsque les propriétés absorbantes ont épuisé leur action que l'influence des engrais devient sensible. Or, quand on incorpore au sol de nouvelles couches, leurs propriétés absorbantes entrent en jeu, disputent à l'eau, aux racines les principes utiles et le premier effet peut être fâcheux, si on n'a pas employé un supplément d'engrais suffisant pour assurer à la fois la saturation des propriétés absorbantes et l'alimentation des végétaux.

Dans les vallées, on procède parfois autrement à l'augmentation de puissance de la couche arable, on y applique le colmatage, opération à l'aide de laquelle on laisse les eaux limoneuses assez longtemps en repos sur un sol, pour qu'elles lui abandonnent les terres meubles qu'elles ont arrachées dans leur cours supérieur; l'exemple le plus remarquable de colmatage qu'on puisse citer est celui de la vallée du Nil. M. Houzeau a trouvé dans le limon que dépose le fleuve $0^{gr},5$ d'azote par kilogr; j'y ai dosé moi-même $2^{gr},30$ d'acide phosphorique, on conçoit que l'apport annuel d'une couche de ce limon dispense dé l'emploi des engrais.

Nos rivières de France charrient une quantité considérable de limons, ces quantités sont évaluées à des nombres très différents par divers auteurs : tandis qu'Hervé Mangon estimait que la Durance transporte annuellement 17 millions de tonnes de matières solides (1), Barral, rédacteur des rapports sur lesirrigations dans les

(1) *Expériences sur les limons.*

Bouches-du-Rhône (1), estimait ces limons à 6 millions de mètres cubes ou 9 millions de tonnes.

Ces limons ne paraissent pas avoir toujours la même valeur. M. P. de Gasparin qui habite Orange et connaît dans tous ses détails les pratiques agricoles de la Provence dit : «... un cultivateur intelligent qui pratique le colmatage choisit dans les crues de la rivière ; il exclut en général les teintes brunes ou rouges ; il n'admet que les eaux jaunâtres. Cependant tous les dépôts ont un caractère commun, l'excessive rareté de l'acide phosphorique et de la matière organique. » Les eaux de la Durance sont utilisées au colmatage pendant l'hiver sur des sols légers ; on établit des retenues à l'aide de bourrelets, et on forme ainsi facilement des bassins qui se colmatent naturellement ; ces bourrelets étant ensuite supprimés, les espaces qu'ils limitaient sont fortement améliorés par l'augmentation de l'épaisseur de la couche végétale et par l'accroissement de la consistance.

L'emploi des limons pour transformer des terres caillouteuses et stériles en terres arables, n'est pas encore très répandu, cependant MM. Thomas ont fourni, au Pontet près d'Avignon, un très bel exemple de colmatage ; ils estiment qu'en employant les eaux troubles de la Durance qu'on maintient dans une série de bassins communiquant les uns avec les autres, il faut cinq ans pour apporter au sol une couche de limon de 25 à 30 centimètres d'épaisseur, fournissant sans fumure 20 hectolitres de blé à l'hectare, tandis que les terres primitives n'en rapportaient que 12 (2).

Quand aucun de ces procédés ne peut être mis en pratique et qu'on se trouve devant une mince couche de terre reposant sur un sous-sol sec, il est souvent bien plus avantageux de ne pas entreprendre la culture, et de procéder résolument au boisement ; on évite ainsi de lourdes dépenses, qui généralement restent inutiles ; il est très dangereux d'entrer en lutte avec une mauvaise terre, elle ne rembourse pas les avances qu'elle a reçues.

§ 145. — Terres stérilisées par la présence de matières nuisibles aux végétaux.

Ces matières nuisibles sont ou le sulfate de fer, ou le sel marin ;

(1) *Imprimerie nationale*, 1876.
(2) *Irrigations dans le départ. de Vaucluse*, *Impr. nat.*, 1878, p. 408.

on rencontre parfois des terres très riches en salpêtre qui ne peuvent être cultivées, mais elles sont très rares.

Sulfate de fer. — On trouve assez fréquemment dans divers terrains du sulfure de fer ; il se présente sous forme de cristaux durs, brillants, inaltérables à l'air, qui sont aujourd'hui employés à la fabrication de l'acide sulfurique, ils sont grillés dans des fours spéciaux et donnent de l'acide sulfureux, transformé ensuite en acide sulfurique par l'action de l'acide azotique. Ces cristaux désignés sous le nom de *pyrite jaune* ne présentent aucun danger pour la culture, il n'en est plus ainsi d'une autre variété connue sous le nom de *pyrite blanche;* on la trouve en masses arrondies montrant après cassure une structure rayonnée; à l'air humide la pyrite blanche se couvre de cristaux de sulfate de fer par oxydation directe, or ce sulfate exerçant une action funeste sur la végétation aussitôt qu'il arrive au contact des racines, en dissolution un peu concentrée, on conçoit qu'un champ renfermant de la pyrite blanche soit stérile.

A. Voelcker (1), qui a étudié ces questions avec soin, en cite plusieurs exemples : une pièce dont la terre accusait à l'analyse $1^{gr},39$ p. 100 de sulfate de fer et $0^{gr},78$ de pyrites était tout à fait stérile ; il en était de même d'une terre du Bedfordshire dans laquelle l'analyse signalait $1^{gr},05$ de sulfate de fer et $0^{gr},56$ de sulfure; ce sol était si absolument stérile, qu'il ne portait pas le moindre brin d'herbe. Sa couleur était d'un gris noirâtre, et il semblait riche en matières organiques, mais en réalité cette teinte était due à du sulfure de fer très divisé et capable d'émettre sous l'influence de l'acide carbonique de l'air et de l'humidité de l'hydrogène sulfuré.

Un autre champ, situé en Hollande et provenant du dessèchement du lac de Harlem, renfermait pour 100 parties : $0^{gr},74$ de sulfate de fer et $0^{gr},71$ de pyrites; une circonstance assez curieuse s'était produite dans son exploitation. Il avait été pendant quelques années très légèrement labouré à la surface avant les semailles, et il donnait des récoltes passables; après quelques années, le domaine fut vendu, le nouveau propriétaire, mécontent des rendements, laboura le sol énergiquement : l'effet de ce travail fut déplorable, la récolte manqua absolument. Une bonne fumure de fumier de ferme ne changea rien à la stérilité, aucune plante ne put se développer. Un échantillon de cette terre ingrate fut alors adressé à Voelcker, qui reconnut dans le sol la présence du sulfate de fer. Celui-ci avait été entraîné dans le sous-sol par l'eau de la pluie, et tant qu'on se borna à ameublir la surface comme l'avait

(1) *On some Causes of improductiveness of soils. Journal de la Soc. R. d'agr. d'Angleterre*, 2e série, t. I, 1865.

fait le premier propriétaire, la culture fut possible, mais quand on ramena à l'air par des labours profonds les couches du sous-sol, on fit surgir aussi le sulfate de fer, dont les propriétés vénéneuses avaient détruit toute végétation.

Rien n'est plus facile que de reconnaître dans un sol la présence du sulfate de fer, une dizaine de grammes de terre sont lessivés, on filtre, dans une portion d'eau de lavage on ajoute de l'ammoniaque, on voit apparaître un précipité verdâtre qui rougit au contact de l'air; dans une autre portion de liquide, ou verse du ferrocyanure de potassium, il donne un précipité bleu qui passe rapidement à la couleur intense du bleu de Prusse.

Si une terre présente ces caractères, il n'y a pas à hésiter à la chauler; la chaux décompose le sulfate de fer, donne du plâtre inoffensif et de l'oxyde de fer insoluble et par suite inactif.

Sel marin. — La présence du sel dans une terre est signalée par la nature des plantes spontanées qu'on y rencontre, telles que les *salsolas*, les *salicornes*, les *staticées;* il est aisé en outre de s'assurer de la présence du sel marin, en prenant un échantillon de terre, le lavant avec de l'eau, filtrant, additionnant de quelques gouttes d'acide azotique *pur*, et enfin de nitrate d'argent, on obtient un précipité blanc, noircissant à la lumière et soluble dans l'ammoniaque.

Une terre habituellement humide peut contenir 2 p. 100 de sel sans cesser d'être propre à la végétation; dans une terre qui se dessèche facilement 1 p. 100 de sel suffit pour amener le stérilité.

M. de Gasparin cite une terre du delta du Rhône renfermant 2,295 p. 100 de sel marin, qu'on réussit à cultiver en recouvrant le sol après les semailles de roseaux tirés des fossés ou des étangs voisins, ils empêchent la dessiccation, la concentration du sel, et grâce à cette pratique les terres rapportent douze à treize fois la semence là où sans abri, elles ne produisaient rien.

Quand, en effet, le sol se recouvre d'une croûte saline, il devient impropre à la végétation. C'est ce qu'on observe dans les départements riverains de la Méditerranée, où l'on désigne sous le nom de *salant* une légère croûte saline qui se présente sur des terres improductives.

Le salant est surtout formé de sel marin (1), il apparaît pendant les années de longue sécheresse sur des sols où l'on n'en soupçon-

(1) E. Bérard, *Comptes rendus*, 1871, t. LXXIII, p. 1155.

nait pas l'existence et qui jusqu'au moment où ils sont envahis étaient considérés comme fertiles. Le *salant* apparaît par places; M. Bérard a trouvé dans le sol d'une de ces plaques salées qui se manifestent au milieu d'un champ fertile, et qui, presque dépourvues de végétation, tranchent brusquement au milieu d'une belle culture, pour 500 grammes de terre : $0^{gr},845$ de sel marin et $0^{gr},300$ de sulfate de magnésie. Le terrain immédiatement adjacent ne contenait que 2 dix-millièmes de sel.

Il est vraisemblable que le sel remonte des couches qui sont imprégnées d'eau de mer, jusqu'à la surface, là où le sol est particulièrement tassé et où par suite les effets de la capillarité sont plus puissants.

La culture des terrains salés peut être entreprise toutes les fois que les eaux douces sont abondantes, M. Gaston Gautier en a donné un très bel exemple au domaine du Frand-Craboules, situé près de la mer, aux environs de Narbonne (1).

« La partie vraiment cultivable du domaine, celle qui émergeait une grande partie de l'année au-dessus des eaux, fut protégée contre les coups de mer et les inondations périodiques de l'Aude par une vaste ceinture de chaussées.

« Soixante hectares de terres médiocres ont été choisis dans cette enclave et drainés avec le plus grand soin avec des tuyaux de poteries placés de 10 mètres en 10 mètres et à 1 mètre de profondeur au-dessous du sol; les eaux sont recueillies dans une fosse collective et élevées à l'aide d'une machine pour être rejetées par-dessus la chaussée dans la mer.

« Pour pratiquer le dessalement, le sol ayant été drainé comme il vient d'être dit, a été défoncé à 45 centimètres et immédiatement recouvert d'une couche d'eau douce de 5 à 10 centimètres d'épaisseur, qui, sans cesse renouvelée, s'infiltrait dans les terres et entraînait les chlorures.

Après six mois, la proportion de sels contenue dans les eaux de lavage du sol avait diminué de moitié, et les drains empêchant les eaux salées du sous-sol de remonter dans la couche superficielle, la fertilité bientôt acquise s'est maintenue.

La quantité d'eau dont on dispose a permis de mettre la vigne à l'abri du phylloxéra, aussi le domaine est-il devenu un vignoble qui rapporte souvent 200 hectolitres de vin à l'hectare. On compte que la rente annuelle dont l'hectare est grevé pour l'ensemble des travaux est 185 fr. 50 par hectare; avec une production de 200 hectolitres, valant 18 francs, on obtient 3,600 francs, c'est-à-dire que l'opération a été extrêmement fructueuse.

Dans le Nord et dans l'Ouest les pluies sont suffisantes pour assurer le dessalement des terres imprégnées de sel marin. Dans la baie de Bourgneuf (Vendée), il existe des polders ou lais de mer

(1) *Revue scientifique*, 2e sér., t. X, p. 229, 1875.

qui ne sont séparés de l'Océan que par des digues de 4 à 5 mètres de hauteur. Avant leur endiguement, ils étaient couverts d'eau de mer à chaque marée haute ; une fois endigués, ils sont desséchés et dessalés par un réseau de fossés à ciel ouvert aménagés à des pentes convenables pour se débarrasser des eaux. En 1863, on a trouvé pour le sol des polders 1,76 de sel marin pour 100 de terre, en 1871, 0,008. Des terres endiguées en 1867 ne renfermaient plus, en 1871, que 0^{kr},056 de sel.

Les moëres des environs de Dunkerque ont été inondées par les eaux salées, à quatre reprises différentes dans l'espace de deux siècles. On n'a pu les remettre en culture qu'après l'épuisement des eaux salées à l'aide de pompes mises en mouvement par des moulins à vent.

STÉRILITÉ DUE A UN MAUVAIS MODE DE CULTURE

Dans nos régions septentrionales, parcourues par les vents d'ouest qui nous arrivent saturés d'humidité et nous empêchent de souffrir d'une sécheresse continue un mauvais mode de culture entraîne la stérilité d'une pièce, d'un domaine : elle n'est pas générale ; elle provient de l'épuisement du sol en aliments végétaux ; l'épuisement du sol par la culture sans engrais est le premier point que nous aurons à examiner.

Dans les régions méridionales, les mauvaises pratiques agricoles amènent la sécheresse et entraînent la ruine de contrées entières. Nous consacrerons la fin de ce chapitre à l'étude de ces causes qui ont amené dans la répartition de la population à la surface du globe des perturbations plus profondes que les guerres et les invasions, après lesquelles les populations reparaissent si les contrées ravagées sont fertiles.

§ 146. — Épuisement du sol par la culture sans engrais.

Quand on se reporte au chapitre où nous avons traité de la *constitution chimique des terres arables*, qu'on se rappelle la masse énorme d'azote combiné, d'acide phosphorique, de potasse qu'elle renferme, on pourrait croire que bien des récoltes devront se succéder sur une terre cultivée sans engrais, avant que son épuisement ne devienne sensible. Si on réfléchit cependant qu'une terre cultivée perd constamment toutes les matières minérales contenues dans les récoltes que ces matières peuvent prendre dans le sol des formes

sous lesquelles elles ne sont plus assimilables, que l'azote des plantes exportées provient du sol, et qu'en outre la nitrification entraîne dans les couches profondes et dans les eaux qui y circulent des quantités notables de cet élément, que l'oxygène enfin brûle constamment la matière organique, l'humus; si on réfléchit enfin qu'il suffit qu'un des principes nécessaires au développement végétal fasse défaut pour que les récoltes faiblissent, on comprendra que la culture sans engrais amène l'épuisement du sol et par suite la stérilité; il convient donc d'étudier successivement :

1° L'épuisement du sol en azote, question d'une haute importance, et qui nous arrêtera longtemps, car à côté des causes qui tendent à diminuer le stock d'azote combiné des terres arables, entrent en jeu des actions exerçant une influence absolument contraire, qui augmentent au contraire la masse des matières azotées contenue dans le sol;

2° L'épuisement du sol en humus ;

3° L'épuisement du sol en acide phosphorique ;

4° L'épuisemont du sol en potasse.

Ces études présentent un intérêt d'autant plus vif, que l'épuisement d'un sol cultivé est bien plus rapide qu'on ne l'imagine habituellement.

Les faits que nous avons constatés au champ d'expériences de Grignon vont nous fournir une démonstration frappante. En 1875, on a tracé sur une terre qui sortait de luzerne, les parcelles d'étude, et tandis que le plus grand nombre d'entre elles était régulièrement fumé, quelques-unes furent au contraire maintenues sans engrais; or, en 1887, ces parcelles ne donnèrent plus que 10,000 ou 13,000 kilos de betteraves à sucre contre 35 à 40,000 fournis par les terres voisines, maintenues en bon état. Si en 1888 l'avoine donna encore des récoltes passables, le trèfle de 1889 y resta chétif, ne donnant que 3,000 kilos de foin, tandis que sur les parcelles voisines on en recueillait 8,000 ou 9,000; enfin, en 1890, on a obtenu d'une des parcelles restées sans engrais depuis 1875 : 8^{qtm} de grain pour la culture du froment contre 30 en moyenne obtenus sur le reste du champ.

Ces parcelles sont donc épuisées, elles ne donnent plus que des récoltes misérables, et il est intéressant de déterminer leur composition pour savoir quelles sont les matières qui y font défaut.

De l'étude de ce cas particulier, nous pourrons, en tenant compte des conditions particulières du sol sur lequel il a été observé, nous élever à une conclusion générale sur les causes de stérilité des terres cultivées sans engrais.

Nous avons établi dans la première partie de cet ouvrage que les plantes exigent, pour atteindre un développement complet, de l'eau, de la matière azotée nitrifiable, de l'humus, de l'acide phosphorique et de la potasse assimilables; nous n'avons pas à nous préoccuper, dans le cas particulier que nous discutons, de la chaux et de la magnésie que notre sol renferme en quantités notables.

Cherchons donc successivement comment ces divers éléments ont disparu dans la terre épuisée par la culture sans engrais.

Épuisement en azote combiné d'un sol cultivé sans engrais. — Les dosages que nous allons indiquer ont été exécutés en prélevant sur les parcelles en expériences deux ou trois échantillons qui ont été analysés séparément, le détail des opérations a été donné dans plusieurs mémoires parus successivement dans les *Annales agronomiques* (1) et nous y renvoyons le lecteur; les chiffres trouvés ont été les suivants :

Azote par kilogr. de terre de deux parcelles cultivées sans engrais.

	1875.	1878.	1881.	1888.	1889.
Parcelle 21.....	2.04	1.74	1.69	1.50	1.52
— 37.....	2.04	1.67	1.45	1.48	1.53

Il est visible que pendant les premières années l'épuisement en azote a été très rapide; en 1881 la parcelle 37 a perdu le quart de son azote combiné; pour la parcelle 21, c'est seulement en 1888 qu'on a trouvé le chiffre minimum; il est bien à remarquer que dans l'une et l'autre de ces parcelles on a observé récemment un changement de sens dans le phénomène, mais il ne s'est pas produit en même temps; la parcelle 21 a porté des pommes de terre de 1875 à 1879, du blé de 1880 à 1883, puis elle a été soumise depuis cette époque à un assolement régulier. La parcelle 37 a fourni des récoltes de maïs fourrage de 1875 à 1883, puis a été soumise à l'assolement à partir de cette époque; son épuisement avait été plus rapide.

Nous reviendrons plus loin sur les gains d'azote qui succèdent aux pertes, insistons actuellement sur ce point très important qu'une terre qui renferme encore $1^{gr},5$ d'azote au kilogramme, c'est-à-dire environ 6,000 kilos d'azote à l'hectare, manifeste des signes non équivoques d'épuisement; il faut en conclure, ou bien que ce n'est pas l'azote qui fait défaut, ou bien que cet azote est engagé dans des combinaisons très stables incapables de se brûler

(1) Voyez notamment, t. XV, p. 241.

pour donner naissance à une quantité de nitrates suffisante pour alimenter les récoltes.

Cette dernière hypothèse est inexacte; en effet, en déterminant les nitrates contenus dans les eaux de drainage s'écoulant de terres en bon état de fumure et de terres appauvries par la culture sans engrais, on a trouvé en rapportant les nombres à l'hectare (1) :

Azote nitrique dans l'eau de drainage (par hectare en kilogrammes).

Terres en bon état de fumure	137k,5
— épuisées	92 ,7

Les terres épuisées sont donc bien loin de ne plus renfermer que des matières azotées non nitrifiables, et la quantité d'azote assimilable qui s'écoule des terres nues est très suffisante pour nourrir les récoltes les plus abondantes.

Il faut donc abandonner cette première hypothèse, et chercher quels autres éléments font défaut.

Épuisement en humus. — Nous avons insisté à plusieurs reprises sur les pertes de carbone organique qui se produisent dans un sol labouré, nous savons que l'humus se brûle lentement dans le sol en produisant de l'acide carbonique, enfin nous avons indiqué déjà (page 401) que les terres restées sans engrais renfermaient actuellement 7,30 de carbone des matières organiques, au lieu de 15 ou 16 qu'on y avait dosé à l'origine.

Il est donc certain qu'ici l'épuisement est considérable puisque le carbone des matières organiques a baissé de moitié; il est par suite vraisemblable qu'une des causes de la faiblesse des récoltes des parcelles considérées doit être le manque d'humus, il reste à chercher comment l'amoindrissement de cet humus amène une stérilité relative.

Quand on se rappelle de quelle énorme quantité d'eau l'humus est capable de se charger, on est conduit à supposer d'abord que les terres appauvries retiennent moins bien l'eau de la pluie et résistent plus difficilement aux longues périodes de sécheresse que celles qui ont été régulièrement fumées. Pour savoir si cette manière de voir était exacte, on a procédé chaque semaine, pendant toute une année, à la détermination de l'humidité dans trois parcelles appauvries et dans trois parcelles riches en humus et on a obtenu les nombres suivants (2) :

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 352, 1890.
(2) *Ann. agron.*, t. XV, p. 481; t. XVI, p. 337.

Moyenne des quantités d'eau contenues dans 100 parties de terre prélevée sur trois parcelles riches ou pauvres en matières organiques.

Terres des parcelles riches.....	18.5
— — pauvres.....	17.6

La différence est donc de 0,9 pour 100 grammes de terre ou de 9 grammes par kilogramme. L'une des terres contenait en moyenne, par hectare de 4,000 tonnes, 74 tonnes d'eau, l'autre 70, et ce n'est pas à cette différence qu'on peut attribuer la diminution des deux tiers dans les récoltes.

On trouve, au reste, une nouvelle expression des différences du pouvoir absorbant, pour l'humidité de ces deux terres inégalement riches en humus, dans les quantités d'eau de drainage recueillies dans les deux séries de parcelles.

Eau de drainage écoulée des terres riches ou pauvres en matière organique pendant l'année juin 89-juin 90.

	Mill. de hauteur.
Terres riches.....	188.67
— pauvres.....	194.27

Rapport de la pluie au drainage.

Terres riches.....	2.6
— pauvres.....	2.5

L'épuisement du sol en humus n'entraîne donc pas une dessiccation notable du sol; il est naturel qu'il en soit ainsi : les bonnes terres renferment 34 grammes d'humus par kilogramme, les terres épuisées 15, la proportion d'humus est donc partout minime et il est manifeste que les colloïdes du sol autres que l'humus ont plus d'influence sur ses propriétés physiques que l'humus lui-même.

En cherchant si la quantité d'acide carbonique contenue dans les atmosphères confinées de ces deux espèces de terre variait, on l'a trouvé encore peu différente, de telle sorte qu'on a dû arriver à des notions nouvelles.

Non seulement nous sommes conduits à supposer que pour certaines plantes l'humus est un aliment indispensable, ce que nous avons discuté déjà, mais nous devons reconnaître de plus que nous désignons sous le nom d'humus, non pas une matière unique présentant toujours les mêmes propriétés, mais au contraire un groupe de matières ayant des propriétés fort dissemblables.

L'analyse nous montre, en effet, que le rapport du carbone à l'azote est très différent d'un sol à l'autre, la valeur du rapport $\frac{C}{Az}$ = 8,4 et 8,5 dans des sols en bon état de fumure, 4,9 et 4,8 dans des sols épuisés.

La matière très azotée contenue dans les sols épuisés est peu soluble dans l'eau, les eaux de drainage qui s'écoulent des terres pauvres en humus sont incolores, celles qui s'écoulent des terres riches sont ambrées.

Enfin, quand on fait vivre des betteraves ou du chanvre dans les terres riches et dans les terres pauvres et qu'on additionne celles-ci de tous les engrais salins, nitrates, sels de potasse, superphosphates, on ne leur voit pas acquérir le développement qu'elles prennent dans les terres riches, il est donc manifeste que la matière organique qui reste dans un sol épuisé est très différente de celle qu'on trouve dans une terre bien fumée, et nous trouvons déjà que *la diminution de l'humus utilisable* est un caractère de l'épuisement du sol cultivé sans engrais.

Epuisement en acide phosphorique. — Nous avons indiqué déjà dans le chapitre précédent que les superphosphates avaient exercé une action marquée sur le développement du blé dans le sol épuisé du champ d'expériences, et que l'analyse tout en indiquant dans le sol cultivé sans engrais une proportion d'acide phosphorique s'élevant encore à plus de 1 gramme par kilogramme, ne décelait plus que des traces d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique.

Cette addition de superphosphates exerce également sur le sol des parcelles épuisées cultivé en betteraves une action très marquée; les racines qui se développent sur les parcelles qui n'ont pas reçu de superphosphates sont très chétives, celles au contraire qui ont reçu les superphosphates sont passables. Il est donc manifeste que la culture sans engrais détermine très rapidement un épuisement notable en acide phosphorique assimilable.

L'influence de l'addition de superphosphates n'est pas au reste notable seulement sur le blé ou les betteraves, elle est également sensible sur quelques-unes des autres plantes cultivées sur le sol sans engrais: elle n'est toutefois que médiocre sur le chanvre, et nulle sur l'avoine qui se développe très bien dans ces sols pauvres en acide phosphorique assimilable.

Les faits précédents conduisent à plusieurs conséquences importantes, sur lesquelles il est intéressant de revenir, bien que nous

en ayons déjà discuté quelques-unes; la première, c'est qu'une cause différente des prélèvements des récoltes amène l'acide phosphorique assimilable à un nouvel état où il cesse de l'être; il est très possible que le fumier de ferme très chargé de carbonates alcalins agisse sur la teneur en acide phosphorique assimilable, non seulement en apportant les trois millièmes d'acide phosphorique qu'il renferme habituellement, mais encore retienne par son alcalinité, à l'état de phosphate de potasse, l'acide phosphorique, qui sans cette addition de carbonate passe à l'état de sesquioxyde; ainsi que nous l'avons indiqué depuis longtemps, P. Thenard et moi.

Il est à remarquer, en outre, que toutes les plantes ne savent pas se saisir avec une égale énergie des phosphates insolubles; nous ne saurions trop le répéter, tandis que sur les parcelles épuisées, les betteraves ou le blé ne peuvent plus se développer sans addition de superphosphates, l'avoine au contraire dans ces sols fatigués trouve encore assez d'acide phosphorique pour se développer normalement. En 1891, on a obtenu sur une parcelle qui avait reçu l'année précédente des superphosphates 30^{qm} d'avoine des salines et sur la parcelle voisine restée sans apport de phosphates 28^{qm}, la différence est donc très minime et nullement comparable à celle qui a été observée pour le blé.

Épuisement en potasse. — Les dosages exécutés au champ d'expériences sur la potasse du sol n'ont pas été assez nombreux pour qu'on puisse en déduire qu'une quantité notable de potasse a disparu pendant la culture sans engrais; il ne semble pas au reste que le défaut d'alcali soit bien sensible, car dans l'expérience de 1890 la parcelle qui a reçu, outre du superphosphate de chaux, du chlorure de potassium, a donné 26^{qm} de blé à l'hectare, tandis que celle qui n'a eu que du superphosphate de chaux en a fourni 24; la différence n'est pas très forte et on ne saurait affirmer qu'elle n'est pas fortuite; on a vu au reste que le stock de potasse des terres de Grignon est énorme, bien plus considérable que celui d'acide phosphorique, et on conçoit que l'épuisement soit encore peu sensible.

§ 147. — Généralisation des faits constatés au champ d'expériences de Grignon.

Les expériences exécutées à Grignon, de 1875 à 1890, nous ont conduit aux conclusions suivantes :

Un sol cultivé sans engrais perd :

1° Une quantité notable d'humus.

2° Une quantité considérable d'azote, mais cette perte très rapide dans les premières années de la culture sans engrais s'amoindrit et plus tard fait place à un gain sensible.

3° La presque totalité de l'acide phosphorique assimilable.

Peut-on supposer que les faits observés sont tout à fait particuliers au sol étudié, ou bien convient-il de croire au contraire qu'ils ont une portée générale ? C'est là le point qu'il faut discuter.

Disparition de l'humus dans les sols cultivés sans engrais. — Le sol de Grignon est léger, perméable à l'air et à l'eau, les engrais organiques y disparaissent rapidement, plus vite sans doute qu'ils ne le feraient dans un sol argileux, compact, où l'air aurait plus de peine à se renouveler; voyons cependant comment la matière organique se comporte dans des sols de composition physique très différente, afin de savoir dans quelle mesure nous pouvons généraliser les faits observés à Grignon.

La matière organique du sol se brûle en produisant de l'acide carbonique, nous aurons donc une idée de la vitesse de sa disparition dans divers sols, en déterminant la quantité d'acide carbonique que renferme l'atmosphère qui y est confinée. Or Boussingault et Lewy ont trouvé dans l'atmosphère d'un carré d'asperges sablonneux 0,79 p. 100 d'air d'acide carbonique et 0,66 dans un champ de topinambours très argileux ; dans un champ de betteraves assez argileux on a trouvé 0,87 p. 100 d'acide carbonique et dans le sol léger d'une vigne 0,96; les différences sont donc très faibles quand on passe d'un sol léger à un sol argileux et nous pouvons en conclure que, dans tous les sols, la matière organique disparaît peu à peu par combustion lente. Celle-ci est favorisée en outre par les mouvements constants que subit l'atmosphère du sol. M. Th. Schlœsing fils (1) trouve dans un herbage du Calvados, le 8 juin, par un temps chaud et calme, 8,8 d'acide carbonique pour 100 de gaz, et le 24 septembre, dans ce même pré, par un temps frais et un vent sensible, 0,45 et 1,40; il est donc évident que l'atmosphère du sol se renouvelle constamment et que les combustions ne sont pas ralenties par la proportion d'acide carbonique que le sol renferme parfois, ces atmosphères chargées disparaissant de temps à autre pour être

(1) *Comptes rendus*, CIX, p. 673.

remplacées par de l'air pur aussitôt que la pression change.

Ces combustions se produisent dans des sols de prairie, non remués, *à fortiori*, elles doivent être encore plus actives dans une terre ouverte par les instruments.

Si donc on défriche une terre neuve, ce que font fatalement les populations qui s'implantent dans un pays non encore cultivé, on l'expose à l'action oxydante de l'air en la travaillant avec l'araire, la charrue ou la bêche, et fatalement on détermine la combustion de la matière organique qu'elle renferme ; cette matière ne se renouvelle que très partiellement par les détritus des récoltes, la perte surpasse le gain et assez rapidement, ainsi que nous venons de le voir, l'humus disparaît et avec lui la fertilité.

Tant que la population est clairsemée, que la terre est abondante, les cultivateurs abandonnent à la végétation spontanée les terres épuisées et en défrichent de nouvelles. Les plantes qui couvrent le sol abandonné pendant la bonne saison meurent, leurs débris deviennent la proie des microorganismes, la matière organique s'accumule, l'humus se reproduit et, après quelques années, la culture est de nouveau possible ; mais il n'en est plus ainsi pour les pays où la population est dense ; il devient difficile de trouver des terres nouvelles pour suppléer à celles qui ont été épuisées et il est alors nécessaire d'introduire dans les sols défrichés depuis longtemps la matière organique pour renouveler celle qui s'y brûle constamment : de là nos copieuses fumures de fumier de ferme du Nord, nos apports de tourteaux dans la région méridionale. Ces additions sont la condition même du maintien de la fertilité, et l'analyse minutieuse à laquelle nous venons de nous livrer ne fait que confirmer ce qu'a enseigné aux praticiens la longue série d'observations qui leur est due, et qui les a conduits à considérer le fumier comme l'engrais par excellence.

La nécessité de l'humus implique donc deux modes de culture différents : dans les pays á population dense, éclairée, cherchant à tirer du sol le maximum de produit, l'emploi des fumures organiques, fumier, tourteaux, enfouissement d'engrais vert ; pour les pays à moitié déserts comme notre France africaine, où l'on fait de si longs parcours sans rencontrer personne, l'abandon de grands espaces à la végétation spontanée qui rétablit l'humus que brûlent ensuite rapidement plusieurs cultures de céréales sans engrais.

Quand la pluie ne fait pas absolument défaut, comme dans le Tell ou les hauts plateaux, la terre est couverte de végétation et en

défrichant, on obtient des récoltes; quand on descend au sud de l'Aurès, la terre non régulièrement arrosée est presque nue, il faut de grands espaces aux troupeaux pour trouver pendant l'hiver quelques plantes qui résistent à la sécheresse; l'été elles disparaissent, de là les migrations des nomades, qui cherchent dans le nord les maigres pâturages que les progrès de la culture restreignent chaque année.

L'humus se reconstitue lentement dans le sol, soit par les débris de la végétation spontanée, soit par les fumures organiques; et la stérilité complète par manque d'humus n'est à craindre que dans les pays arides où la pluie et les irrigations font défaut simultanément, nous en donnerons des exemples à la fin de ce chapitre; partout ailleurs il est toujours possible de le reconstituer. Mais les récoltes restent misérables, tant qu'à la production d'humus par le jeu des forces naturelles, ne se joignent pas de copieuses fumures organiques.

En est-il de même pour l'azote? c'est là le point qu'il convient maintenant d'examiner.

§ 148. — Gains d'azote des terres arables.

Les observations exposées dans les paragraphes précédents démontrent que le stock d'azote combiné que renferment les terres cultivées est soumis à de puissantes causes de déperdition; les récoltes prélèvent dans le sol l'azote nécessaire à la constitution de leurs tissus, en outre, ainsi qu'il a été montré page 456, la nitrification s'exagère souvent, entraîne dans les eaux de drainage ou accumule dans les tissus aqueux des végétaux des proportions considérables de nitrates.

Nous avons donné page 485 des comptes chiffrés de ces déperditions observées au champ d'expériences de Grignon, mais nous avons vu en même temps que si une terre riche en azote s'appauvrit très rapidement quand elle est cultivée sans engrais, cet appauvrissement loin de suivre une marche régulière s'atténue peu à peu et fait place à un enrichissement, léger quand la terre est labourée chaque année, très notable au contraire quand la terre est maintenue en prairie. C'est ce qui ressort des déterminations suivantes exécutées au champ d'expériences de Grignon, pour les deux parcelles suivantes, qui cultivées en betteraves en 1875, 76,77, en maïs fourrage en 1878, ont porté une prairie de sainfoin de 1879

à 1883 et ont été ensuite maintenues en prairie de graminées jusqu'en 1888.

	1875.	1879.	1881.	1885.	1888.
Parcelle 1, 20 000 kil. de fumier en 1875-76-77-78, rien depuis	2.04	1.50	1.65	1.77	1.98
Parcelle 5, toujours sans engrais	2.04	1.46	1.50	1.65	1.81

En ramenant à l'hectare, on trouve les chiffres suivants :

Parcelle 1.....	7.854	5.775	6.352	6.814	7.623
— 5.....	7.854	5.621	5.775	6.352	6.698

Si on tient compte des prélèvements des récoltes on trouve que de 1879 à 1888 la parcelle 1 fumée à l'origine, mais restée sans engrais depuis 1879, a gagné :

Par le sol	1848

auxquels s'ajoute :

Pour les prélèvements des récoltes.....	1240
	3057 kil.

Et la parcelle 5 toujours sans engrais :

Par le sol.....	1338
Prélèvements des récoltes.....	918
	2256 kil. (1)

Il est donc manifeste qu'une terre maintenue en prairie s'enrichit d'azote combiné.

Cet exemple n'est pas le seul que nous puissions citer : en 1856, sir J.-B. Lawes (2) a transformé en prairie une terre qui jusque là avait porté des céréales; cette prairie a été fumée au fumier de ferme, tous les ans et les apports d'azote de la fumure ont surpassé de $8^k,7$ à 22 kilos chaque année, suivant la richesse du fumier, les prélèvements des récoltes, mais en ajoutant à ces nombres ceux qui représentent les gains provenant de l'ammoniaque atmosphérique qui seraient au maximum de 10 kilos, on n'arrive pas à expliquer, sans faire intervenir l'azote atmosphérique, les gains que montre le tableau suivant :

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 240.
(2) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 167.

DATES.	NOMBRE D'ANNÉES.	AZOTE			
		pour 100 dans le sol de la surface (desséché).	par hectare supposé peser 2000 tonnes anglaises.	GAIN	
				par hectare.	par hectare et par an.
			kilogr.	kilogr.	
1856.....		0.1520	3.344	»	»
1866.....	10	0.1749	3.846	502	50.2
1879.....	13	0.2046	4.500	653	65.8
1888.....	10	0.2345	5.159	658	
	33			1813	58.0

Les déterminations précédentes sont bien d'accord avec ce que nous savons de la richesse en azote des terres de prairies; nous avons notamment cité les analyses qu'a exécutées Truchot des prairies hautes des montagnes d'Auvergne renfermant 5,7 et 9 grammes d'azote combiné par kilogramme.

Nous savons en outre que les plaines de l'Ouest américain récemment défrichées contiennent 3 et 4 grammes d'azote combiné par kilogramme, et il faut en conclure que des forces interviennent pour fixer dans le sol l'azote atmosphérique. Quelles sont les causes de fixation de l'azote? c'est ce que nous devons examiner.

Fixation dans le sol de l'ammoniaque atmosphérique. Travaux de M. Schlœsing. — Nous avons vu plus haut (page 122) que l'ammoniaque atmosphérique n'intervient pas d'une façon habituelle, dans la nutrition des plantes, peut-elle être absorbée par la terre arable? M. Schlœsing s'est efforcé de le montrer (1).

Il a inégalement exposé à l'action de l'air des terres sèches, qui au moment de la première observation ne renfermaient dans 50 grammes que $0^{mgr},80$ d'ammoniaque; après quarante-neuf jours on a dosé dans un échantillon $2^{mgr},504$ d'ammoniaque; pour un autre, l'ammoniaque a passé de $0^{mgr},22$ à $4^{mgr},141$ en cinquante et un jours. Quand on a opéré sur des terres humides, on a trouvé des différences notables entre les terres complètement exposées à l'action de l'air et celles qui en ont été partiellement préservées; dans l'une des expériences le lot découvert a acquis $4^{mgr},950$ qui ne se

(1) Toutes ses expériences sont très bien résumées dans l'*Encyclopédie chimique* de M. Frémy, t. X. *Contributions à l'étude de la chimie agricole*, par M. Th. Schlœsing.

sont plus présentés sous forme d'ammoniaque, mais bien sous celle d'acide azotique et le lot couvert $2^{mgr},360$; dans un autre le lot couvert a acquis $5^{mgr},918$, l'autre $1^{mgr},821$.

M. Schlœsing a repris ce sujet récemment (1) et comme précédemment il a constaté dans les terres exposées à l'air un enrichissement en ammoniaque dont il attribue l'origine à l'atmosphère.

MM. Berthelot et André ont montré d'autre part (2), comme l'avait fait autrefois M. Brustlein (3), que si la terre gagne parfois de l'ammoniaque, elle peut également en perdre, de telle sorte que d'après M. Berthelot (4) il se fait un échange incessant d'ammoniaque entre la terre et l'atmosphère sans qu'on puisse affirmer que la différence entre les gains et les pertes sera toujours favorable à l'enrichissement du sol.

Fixation de l'azote atmosphérique par action microbienne. Expériences de M. Berthelot. — D'après l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, la fixation de l'azote atmosphérique par le sol arable est due à l'action d'un être vivant.

M. Berthelot dose dans des sables et des argiles bruts l'azote total, l'azote ammoniacal et l'azote nitrique, puis il les laisse exposés à l'action de l'air, soit dans une chambre close, soit en plein air au-dessus du sol d'une prairie, soit enfin au sommet d'une tour de 28 mètres.

En rapportant les nombres trouvés à 1 kilogramme, on a trouvé pour le sable (5) exposé à l'air de la chambre pendant la première saison (1884) $0^{gr},022$ d'azote fixé ; dans la seconde saison (1885) $0^{gr},024$ et en vase clos $0^{gr},038$. Avec le sable II, les gains ont été dans la chambre $0^{gr},020$, dans le vase clos $0^{gr},028$, dans la prairie $0^{gr},014$, sur la tour de $0^{gr},15$ à $0^{gr},28$. Avec le kaolin III, les gains ont été dans la chambre $0^{gr},020$, dans le vase clos $0^{gr},027$, dans la prairie $0^{gr},014$, sur la tour $0^{gr},025$.

M. Berthelot ne s'est pas borné à étudier la fixation de l'azote dans des sols vierges, il l'a également constatée sur un grand nombre de terres arables. Des terres (6) renfermant respectivement $0^{gr},974$, $1^{gr},655$ et $1^{gr},744$ d'azote combiné par kilogramme

(1) *Comptes rendus*, t. CX, p. 429 et 499.
(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. XI, p. 375.
(3) *Agron.*, de Boussingault, t. II, p. 152.
(4) *Comptes rendus*, t. CX, p. 558.
(5) *Comptes rendus*, t. CI, p. 775.
(6) *Ann. de ch. et de phys.*, 6e série, t. XVI, p. 490. — *Ann. agron.*, t. XV, p. 220.

exposées à l'action de l'air ont également fixé de l'azote mais en quantité d'autant plus forte qu'elles étaient plus pauvres.

Cette fixation d'azote est attribuée par M. Berthelot à un microbe spécial ; en effet, elle ne se manifeste plus, lorsque les terres ont été stérilisées par un chauffage préalable à 110° ; elle reste comprise entre les limites citées plus haut lorsqu'on arrose le sol avec de l'eau dans laquelle on a délayé le contenu des tubercules qui se développent sur les racines des légumineuses. Les bactéries qui s'y trouvent et qui jouent un rôle si important dans la fixation de l'azote par les légumineuses ne paraissent pas pouvoir communiquer au sol la propriété de fixer l'azote de l'air quand il en a été privé ou de l'exagérer s'il le possède encore.

M. Berthelot indique les conditions suivantes comme nécessaires à la fixation de l'azote de l'atmosphère sur les terres arables :

1° Une atmosphère modérément oxydante incapable de produire une nitrification exagérée ;

2° La présence d'une dose d'eau limitée ;

3° Une température comprise entre 10° et 40° ;

4° L'existence dans la terre d'une dose d'azote limitée et n'appartenant pas à des matières organiques en putréfaction ou en fermentation réductrice ;

5° Enfin l'existence de certains microbes spécifiques.

En rapportant les chiffres trouvés à la surface d'un hectare, on arriverait à des fixations correspondant à plusieurs centaines de kilogrammes.

Les très nombreuses expériences exécutées par M. Berthelot seraient de nature à entraîner la conviction si elles n'étaient pas formellement contredites par M. Schlœsing, qui n'a jamais pu réussir à constater la fixation d'azote dans les terres soustraites à l'action de l'ammoniaque atmosphérique (1).

Il est manifeste que l'idée qu'un être vivant est susceptible de faire pénétrer l'azote gazeux en combinaison, que des organismes microscopiques réussissent à réaliser des combinaisons qui ne se produisent qu'en très faibles quantités sous l'influence des moyens puissants des laboratoires, répugne à l'esprit ; en voyant cependant que les microbes contenus dans les nodosités des légumineuses fixent l'azote, qu'il suffit de les inoculer à une racine pour que la plante à laquelle elle appartient se développe normalement dans un

(1) *Comptes rendus*, t. CXI, p. 805, 898, 982, 1123, etc.

sol privé d'azote combiné, on est bien forcé de reconnaître que cette fixation de l'azote libre par les microorganismes est possible et dès lors on n'a plus de raison pour rejeter l'interprétation donnée par M. Berthelot des faits remarquables qu'il a découverts.

La fixation de l'azote dans les sols a été démontrée aujourd'hui par des observations si nombreuses qu'il n'est plus possible de la révoquer en doute ; les observations ont porté soit sur des terres mises en expériences, soit sur des sols en place.

Expériences sur des terres en pots. — MM. A. Gauthier et Drouin (1). — Les auteurs ont opéré sur des terres artificielles formées de :

Sable de Fontainebleau lavé aux acides forts puis à l'eau et additionné de $\frac{5}{1000}$ de silice gélatineuse	60
Carbonate de chaux précipité pur	30
Kaolin pur lavé, il contenait $0^{gr},007$ pour 100 d'oxyde ferrique	10
Phosphate neutre de potasse	2

Les matières organiques étaient formées d'un mélange de charbon de bois calciné, de charbon pulvérisé et lavé aux acides à chaud, enfin de matière ulmique obtenue par ébullition du sucre de canne avec de l'acide chlorhydrique. Les dosages d'azote ont été exécutés en volume par la méthode de Dumas légèrement modifiée (2).

Les auteurs ont constaté que les sols nus, privés de matières organiques avaient perdu de petites quantités d'azote, tandis qu'au contraire ceux qui étaient pourvus de matières organiques s'étaient légèrement enrichis ; ils ajoutent : « Dans ces expériences, les quantités fixées ont été dix fois aussi grandes que les quantités d'azote ammoniacal fixées par l'eau acidulée exposée à l'air des champs dans les expériences de M. Schlœsing.

Quand les sols ont porté des fèves de marais, les quantités d'azote fixées ont été encore sensibles, mais elles ont été réalisées par les plantes et non par le sol lui-même ; la quantité totale fixée sous l'influence de la végétation a été de $0^{gr},156$, soit environ, d'après la surface des pots, de 185 kilogrammes par hectare.

Expériences de M. Pagnoul. — Des vases en grès imperméables de $7^{dmq},54$ contenant 22 kilogrammes de terre préalablement ana-

(1) *Comptes rendus*, t. CVI, p. 754, 863, 945, 1098 et 1232. — *Ann. agron.*, t. XIV, p. 328.
(2) Voyez ce volume, p. 33.

lysée sont répartis en trois lots, deux restent sans végétation, deux portent un gazon de graminées, deux autres du trèfle ; les 22 kilogrammes de terre reçoivent comme engrais 10 grammes de sulfate de chaux et 5 grammes de sang desséché renfermant $0^{gr},540$ d'azote et du sulfate d'ammoniaque en contenant 1 gramme, on pèse et on analyse les récoltes, les eaux de drainage, enfin la terre, à la fin des expériences, qui ont duré deux saisons de mars 1888 à mars 1890.

Les gains réalisés par l'ensemble, plante et terre, après déduction de l'azote introduit et de celui que renfermaient les eaux écoulées ont été les suivants :

	Azote gagné.	
	Pour chaque vase.	Pour un hectare.
Terre nue.....	$0^{gr},220$	29 kil.
— avec gazon.....	2 ,970	294 —
— avec trèfle.....	6 ,820	904 — (1)

Le gain est surtout sensible pour la terre qui a porté du trèfle, nous en connaissons la raison depuis les belles expériences de MM. Hellriegel et Wilfarth, que nous avons exposées déjà (p. 127).

Il n'est donc pas douteux : 1° que dans certaines circonstances les terres s'enrichissent en azote; 2° que les gains surpassent ceux qu'on peut attribuer à des fixations d'ammoniaque atmosphérique.

§ 149. — Résumé : Conditions dans lesquelles les terres perdent ou gagnent de l'azote. — Cultures épuisantes et améliorantes.

Nous arrivons donc à cette conclusion d'une haute importance : si dans certains cas les terres perdent des quantités notables d'azote combiné, dans d'autres au contraire, ces pertes sont remplacées par des gains, et on conçoit facilement que l'azote étant le plus précieux de tous les éléments de la fertilité, celui dont l'acquisition est la plus coûteuse, il ne nous suffise pas d'avoir énuméré successivement les causes de gain et les causes de perte, mais qu'il soit nécessaire de préciser les conditions dans lesquelles se produisent l'augmentation ou la diminution du stock des matières azotées des sols.

Les observations précédentes, la longue expérience des cultivateurs montrent que ces gains se produisent surtout quand les terres

(1) *Comptes rendus*, t. CX, p. 910. — *Ann. agron.*, t. XVI, p. 250.

maintenues en repos sont couvertes des graminées, *à fortiori* des légumineuses de la prairie. Toutefois, une objection se présente tout d'abord : dans une terre en prairie, les nitrates ne sont-ils pas réduits, amenés à l'état d'azote libre, n'y a-t-il pas là une cause sérieuse de perte d'azote combiné? C'est pour nous en rendre compte que nous discutons la réduction des nitrates.

Réduction des nitrates. — En 1873 (1), M. Schlœsing ayant enfermé une terre riche en nitrates dans un grand flacon reconnut qu'elle dégageait de l'acide carbonique et de l'azote à l'état libre, le volume de ce dernier était même supérieur à celui que renfermait le nitrate préexistant, ce qui montrait que la matière organique du sol avait été elle-même décomposée.

Nous avons repris cette question, M. Maquenne et moi en 1882 (2), et nous avons reconnu que la réduction des nitrates dans la terre arable était due à l'action d'un ferment figuré, car : 1° elle cessait dans une terre stérilisée ou soumise à l'action des vapeurs de chloroforme, mais 2° reprenait dans les terres stérilisées après ensemencement d'une terre normale; nous avons reconnu en outre que l'azote dégagé était accompagné de protoxyde d'azote.

Ainsi la réduction des nitrates peut n'être pas complète, puisqu'on recueille une des combinaisons de l'azote avec l'oxygène en même temps que l'azote lui-même.

La terre arable nourrit une multitude de ferments différents; on y rencontre celui qui décompose la cellulose avec production de formène, en même temps que ceux qui provoquent la fermentation butyrique; ces derniers sont faciles à montrer.

On introduit dans un grand ballon de l'eau chargée de 7 ou 8 p. 100 de sucre, de la terre et du carbonate de chaux, puis on ajoute quelques décigrammes de phosphate d'ammoniaque, le ballon étant complètement rempli de ce mélange est muni d'un bouchon portant un tube à gaz de fort diamètre pour éviter que la terre soulevée par le dégagement tumultueux des gaz ne l'obstrue complètement; on maintient le ballon à une température de 30° environ et, après une douzaine d'heures, on voit bientôt se développer une fermentation très active; on recueille un mélange de gaz dans lesquels dominent l'acide carbonique et l'hydrogène.

Le liquide examiné au microscope apparaît chargé de microorganismes nombreux.

Les produits de la fermentation du sucre provoquée par la terre arable (3) sont de l'acide butyrique, de l'acide acétique, un peu d'acide propionique, de petites quantités d'alcools éthylique et amylique.

On conçoit que parmi les ferments réducteurs qui existent dans le sol, il en est quelques-uns qui exercent leur action sur les nitrates.

Il est à remarquer toutefois que les nitrates ne sont réduits par l'influence des ferments que dans une atmosphère privée d'oxygène, aussitôt que l'air

(1) *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 353.
(2) *Ann. agron.*, t. IX, p. 5.
(3) *Ann. agron.*, t. X, p. 5.

peut pénétrer les nitrates persistent; nous avons vu plus haut que l'oxygène ne fait jamais défaut dans l'atmosphère confinée d'une terre normale, il semble donc que cette action réductrice ne se produit que dans des sols gorgés d'eau.

MM. U. Gayon et Dupetit, qui ont étudié l'action réductrice des ferments sur les nitrates, à Bordeaux, en même temps que M. Maquenne et moi nous en occupions à Paris, ont réussi à isoler différents ferments anaérobies, deux d'entre eux méritent particulièrement le nom de *Bacterium denitrificans*. Les méthodes employées par MM. Gayon et Dupetit pour isoler ces divers ferments sont ingénieuses et semblent devoir être employées avec profit par les bactériologistes; les auteurs arrivent également à cette conclusion que les nitrates ne sont réduits que dans les sols privés d'oxygène (1).

Or, il résulte des recherches de M. Schlœsing fils que toutes les terres saines renferment toujours de l'oxygène confiné dans l'atmosphère, de telle sorte que la réduction des nitrates ne doit pas être un phénomène habituel dans les terres qui ne se gorgent pas d'humidité. Il est vraisemblable, au contraire, qu'elle se produit dans les sols où les eaux ne trouvent pas d'écoulement régulier, et c'est là sans doute une des causes du peu de profit qu'on trouve à les cultiver.

Pertes par nitrification. — La réduction des nitrates n'exerçant son influence que dans des conditions très particulières, nous pouvons n'en pas tenir compte et n'attribuer les pertes qu'à deux causes: les prélèvements des récoltes, la dissolution des nitrates dans les eaux de drainage; ces pertes sont notables, car nous voyons le cultivateur s'imposer chaque année de lourdes dépenses pour acquérir des engrais azotés.

Puisque cette acquisition est presque toujours favorable, puisque le commerce du nitrate de soude, du sulfate d'ammoniaque, des tourteaux, du fumier même ne cesse de s'étendre, c'est que manifestement, dans les circonstances habituelles, les pertes d'azote des sols cultivés surpassent les gains.

La nitrification est la cause qui tend sans cesse à diminuer le stock d'azote des terres arables; l'azote nitrique ne persiste pas dans le sol, il est ou bien saisi par les racines, utilisé ou même emmagasiné par la plante ou dissous par l'eau qui circule dans le sol, entraîné et perdu. Toutes les pratiques agricoles qui favorisent la nitrification occasionnent des pertes d'azote, mais comme la formation des nitrates est la condition même de la fertilité, il importe de bien savoir, quand il faut exalter la nitrification, quand au contraire il serait avantageux de la restreindre.

(1) Recherches sur la réduction des nitrates par les infiniment petits par MM. U. Gayon et Dupetit. *Ann. de la science agronomique*, 1886.

La nitrification est essentiellement, ainsi que nous l'avons vu, une oxydation produite par un ferment aérobie, nous avons indiqué plus haut (p. 402) quelles sont les conditions dans lesquelles fonctionne le ferment nitrique, nous savons que la présence de l'air lui est nécessaire et nous voyons immédiatement que toutes les façons qui ont pour but d'aérer le sol lui sont favorables, les labours répétés, les binages, les hersages, la pulvérisation de la terre favorisent son action; si donc nous avons semé une plante qui, comme le blé ou la betterave, profite hautement des nitrates, nous devons, par des travaux très soignés, aérer le sol afin que les nitrates y prennent naissance; ajouter même au sol du carbonate de chaux nécessaire à la saturation de l'acide azotique à mesure qu'il se produit, si le calcaire fait défaut. Les labours, les hersages, la trituration du sol ont, au reste, pour effet, non seulement d'aérer le sol, mais en outre de répandre de toutes parts le ferment nitrique, de le disséminer de façon qu'il exerce sur tous les points son action oxydante.

C'est au printemps que cette activité devrait atteindre son maximum, malheureusement, à ce moment, la température n'est pas assez élevée, en outre les grandes pluies d'hiver ont lavé le sol, il n'y a pas de nitrates accumulés et l'expérience montrant que presque toujours l'addition des nitrates au mois d'avril est favorable, il faut en conclure que la quantité d'azote nitrifié au commencement de la saison est insuffisante.

La nitrification est au contraire très active, si la terre est encore humide au moment où la température s'élève, et c'est là ce qui est généralement très fâcheux; les betteraves, il est vrai, profitent de cette formation de nitrates, quelquefois cependant un peu tardive, et qui a seulement alors pour effet d'accumuler inutilement ces sels dans leurs tissus.

Quant au blé, il cesse à partir du mois de juillet d'assimiler par les racines; les nitrates se forment donc en pure perte pendant tout l'été; après la moisson la terre reste découverte, les nitrates restent sans emploi et quand arrivent les grandes pluies d'automne, ils sont dissous, entraînés dans les eaux souterraines et perdus (voyez p. 454).

Ainsi au moment où la nitrification serait utile, elle n'a pas une activité suffisante et son action est maxima quand au contraire il serait avantageux de la restreindre.

Les grandes pertes d'azote des terres labourées ont lieu à l'automne et rien ne peut être plus utile que de les diminuer en procé-

dant aussitôt après la moisson à un léger labour de déchaumage, pour semer une plante à végétation rapide qui s'emparera des nitrates et les conservant dans ses tissus, soit simplement emmagasinés, soit au contraire en utilisant leur azote à la formation des albuminoïdes, rendra au sol au moment où elle sera enfouie par les grands labours, tout l'azote qui, sans cette culture, aurait été perdu.

C'est là ce que nous avons essayé de faire en 1890, et bien que les conditions n'aient pas été très favorables, les pluies étant arrivées très tardivement, les nombres suivants montrent cependant combien les cultures dérobées pour engrais peuvent être favorables.

Cultures d'été.	Cultures dérobées.	Azote nitrique entraîné par les eaux de drainage écoulées d'un hectare en novembre 1888.
Betteraves.....	Nulle.....	7k,5
Maïs fourrage....	Nulle.....	14 ,5
Avoine.....	Colza.....	0 ,37
Chanvre.....	Nulle.....	10 ,5
Pois.....	Navette.....	0 ,51
Ray grass.....	Ray grass.....	0 ,38
Trèfle.....	Trèfle.....	1 ,10

Un hectare de terre nue pendant l'arrière-saison a donc perdu en moyenne 10kg,8 d'azote nitrique, un hectare couvert d'une culture dérobée 0kg,4 à peu près la même quantité qu'un hectare de prairie et moins qu'un hectare de trèfle (1).

Si on peut s'opposer ainsi aux pertes par drainage, on est obligé de subir celles qui résultent des réserves de nitrates que font certaines plantes annuelles et notamment les betteraves, le maïs fourrage, le sorgho, qui sont quelquefois tellement chargées qu'elles deviennent dangereuses pour les animaux. Ces plantes sont essentiellement épuisantes puisqu'elles prélèvent sur le sol, non seulement l'azote nécessaire à la formation de leurs albuminoïdes, mais en outre des nitrates qui restent inutiles, non élaborés dans leurs tissus.

Gains dans les terres non labourées. — Si aucune cause n'agissait en sens inverse de la nitrification, si des gains d'azote ne venaient pas compenser les pertes qu'elle occasionne, l'épuisement en azote des sols serait absolu, car nous avons vu (page 454) que les terres appauvries donnent encore des quantités notables de nitrates. S'il n'en est pas ainsi, si la proportion d'azote des sols ne diminue

(1) Voyez plus loin, au chapitre *Engrais verts*, les résultats obtenus en 1891.

pas régulièrement, c'est qu'aussitôt que les terres se sont appauvries, que la quantité d'azote y a diminué, de façon à être voisine de 1 millième, interviennent les causes de fixation d'azote que nous avons indiquées plus haut.

Nous avons vu au champ d'expériences de Grignon, que les pertes très rapides pendant les premières années, quand les terres renfermaient 2 millièmes d'azote, se sont affaiblies peu à peu, puis ont fait place à de légers gains.

Il semble donc qu'il y ait deux causes agissant en sens inverse, la nitrification cause de perte qui s'exerce surtout sur les sols riches, tandis que la fixation microbienne de l'azote n'y intervient pas, cette fixation entrant en jeu au contraire dans les sols pauvres ; on conçoit toutefois que même lorsque cette fixation d'azote intervient dans des sols labourés chaque année, elle soit contrebalancée par la nitrification et que la teneur en azote ne subisse plus de grands changements, tandis qu'au contraire, si on retarde la nitrification en supprimant les labours, les actions microbiennes dominent et la terre s'enrichit d'azote.

Dans toutes les cultures qui n'exigent aucun travail du sol, la fixation de l'azote l'emporte et ces cultures sont dites améliorantes. Celles des légumineuses le sont à un haut degré. Les microbes qui garnissent les nodosités que présentent leurs racines y entrent en jeu ; les sols qui ont porté du trèfle ou de la luzerne s'enrichissent, il en est de même pour les prairies de graminées bien qu'à un moindre degré puisque, dans ce cas, les bactéries du sol agissent seules et leur effet n'est pas secondé par l'activité des bactéries des tubercules formés sur les racines, comme dans les prairies artificielles.

On conçoit dès lors combien l'introduction dans les assolements de la prairie de légumineuses a été favorable, et quels progrès la culture a réalisés quand le trèfle y est revenu à intervalles réguliers. C'est grâce à ces gains qui se produisent pendant l'une des années de l'assolement quinquennal qu'on peut constater que l'azote des récoltes surpasse celui des engrais d'une façon notable, toutes les fois que les apports d'engrais sont peu considérables ; Boussingault a donné de ces comparaisons un certain nombre d'exemples, bons à citer, dans lesquels il compare pour divers assolements l'azote des récoltes à celui du fumier.

Assolement n° 1. — Première année, pommes de terre ; deuxième année, froment ; troisième année, trèfle et foin ; quatrième année, froment et navets dérobés ; cinquième année, avoine. Azote de la

récolte, 250k,7; azote de l'engrais, 203k,2; différence : + 47k,5.

Assolement n° 2. — Première année, betteraves; deuxième année, froment; troisième année, trèfle et foin; quatrième année, froment et navets dérobés; cinquième année, avoine. Azote de la récolte, 254k,2; azote de l'engrais, 203k,2; différence : + 51k,0.

Assolement n° 3. — Première année, pommes de terre; deuxième année, froment; troisième année, trèfle et foin; quatrième année, froment et navets dérobés; cinquième année, pois (fumés); sixième année, seigle. Azote de la récolte, 353k,6; azote du fumier, 243k,8; différence : + 109k,8.

Assolement n° 4. — Première année, jachère fumée; deuxième et troisième année, froment. Azote de la récolte, 87k,4; azote du fumier, 82k,8; différence : + 4k,6.

Assolement n° 5. — Topinambours. Azote de la récolte, 137k,1; azote du fumier, 94k,1; différence : + 43k,0.

Assolement n° 6. — Première année, pommes de terre (demi-hectare) et betteraves (demi-hectare); deuxième et quatrième année, froment; troisième année, trèfle. Azote de la récolte, 304k,5; azote de l'engrais, 182k,1; différence : + 122k,4.

Ainsi, dans ces assolements qui comprennent à peu près toutes les cultures adoptées dans la plus grande partie de l'Europe centrale, la récolte enlève chaque année plus d'azote que les engrais n'en fournissent. Nous rappellerons en outre que, d'après Hervé Mangon, dans le Midi, les luzernières irriguées fournissent toujours dans la récolte plus d'azote que l'engrais et l'eau d'irrigation ne leur en ont fourni.

On remarquera que l'assolement n° 4, dans lequel n'entre pas de légumineuses, est celui qui fournit les plus faibles excédents.

Quand, il y a quelques années, nous ignorions que l'azote de l'air intervient efficacement dans la végétation, nous pouvions craindre que l'impossibilité où nous sommes encore d'engager directement l'azote de l'air en combinaison, n'amenât, après l'épuisement des gisements connus de nitrates, un appauvrissement considérable de nos terres cultivées, et il est certain que cet épuisement du nitrate du Pérou causera un grand préjudice, sans toutefois amener nos terres à la stérilité; en effet, nous savons aujourd'hui qu'une terre maintenue en prairies s'enrichit d'azote, et nous avons dès lors entre les mains une méthode qui nous permettra toujours d'augmenter le stock d'azote combiné que renferment nos terres, méthode qu'il ne faut au reste employer qu'avec précaution, car si

la création des prairies temporaires de graminées, laisse le sol enrichi en azote, la culture de ces prairies défrichées est très difficile, à cause des insectes qui y pullulent et souvent nuisent terriblement aux récoltes qui suivent le défrichement.

§ 501. — Épuisement du sol en acide phosphorique et en potasse.

Il y a trente-cinq ans, quand Élie de Beaumont imprimait son Mémoire sur les *Gisements géologiques du phosphore*, il calculait avec inquiétude la quantité de phosphate de chaux qu'ont retirée de la circulation tous les ossements qui s'accumulent dans les cimetières et les catacombes, et il terminait en écrivant : « Colbert avait dit que la France périrait faute de forêts et tout le monde conçoit que, sans la houille, sa prédiction serait en voie de s'accomplir. De son temps, on aurait moins facilement compris comment un grand pays pourrait périr faute de phosphore; c'est cependant ce qui finirait par arriver, si on ne parvenait pas à trouver dans la nature minérale des substances qui seraient en quelque sorte pour l'agriculture ce que la houille est pour l'industrie... » Ces inquiétudes sont aujourd'hui dissipées : la recherche des gisements géologiques du phosphore a été suivie d'un succès inespéré.

Nous indiquerons dans la troisième partie de cet ouvrage quelles immenses ressources de phosphates ont été découvertes, elles permettent d'introduire l'acide phosphorique partout où il fait défaut, et les agronomes n'ont plus de ce côté la moindre inquiétude.

Il en est de même de la potasse, elle est abondante dans l'eau de mer, par suite dans les eaux mères des marais salants, par suite également dans le gisement de sel gemme de Stassfurt Analt, de telle sorte que si les rendements d'un sol étaient diminués par manque de potasse, rien ne serait plus facile que d'y rétablir la fertilité.

Les gisements de phosphate de chaux sont aujourd'hui largement exploités et dans nombre de circonstances l'apport des phosphates est nécessaire. Nous avons vu plus haut combien rapide est l'épuisement du sol en acide phosphorique assimilable et l'on conçoit facilement que des terres cultivées en céréales, sans apport d'engrais pendant de longues suites d'années, soient très appauvries. C'est ce qui a lieu notamment pour certaines terres de Tunisie. M. Quantin, directeur de la station agronomique du Loiret, a trouvé dans les sols de la vallée de la Medjerdah, de très faibles quantités d'acide

phosphorique tandis que les quantités d'azote combiné oscillent autour de 1 gramme par kilo, elles ont même atteint une fois 1gr,66. Ces terres sont donc bien plus pauvres en phosphore qu'en azote, à l'exception des terres qui recouvrent l'emplacement de Carthage, toutes les autres renferment moins de 0gr,5 d'acide phosphorique total par kilo; proportion qui exige absolument un apport de phosphates pour rétablir le sol dans des conditions de fertilité moyenne (1). Il est évident que toutes les terres de la Régence ne doivent pas être aussi pauvres en phosphore que les précédentes. M. Nantier, directeur de la station agronomique de la Somme a trouvé en effet, dans deux sols différents un millième d'acide phosphorique (2), et tout récemment M. Bertainchand, directeur de la station agronomique du bassin de l'Oued Milliane, a dosé dans un grand nombre de sels des quantités assez notables d'acide phosphorique.

Il ne paraît pas en être de même en Algérie; dans un travail étendu M. Ladureau (3) a dosé l'acide phosphorique dans 52 échantillons de la province d'Alger, dans 28 de la province d'Oran et dans 19 de la province de Constantine; les chiffres trouvés sont faibles : pour la province de Constantine 0gr,69 par kilo en moyenne avec quelques chiffres au-dessus de 1 gramme, mais quelques autres au-dessous 0gr,4 ; pour la province d'Alger on a trouvé 0gr,66 comme nombre moyen et 0gr,54 pour celle d'Oran.

On conçoit facilement que le sol de l'Algérie et celui de la Tunisie ayant pendant des siècles produit des céréales exportées pour nourrir la population de Rome et même de l'Italie, l'acide phosphorique ait diminué et que de nouveaux apports y soient avantageux.

Les phosphates naturels, ceux qui proviennent du traitement de la fonte, contenus dans les scories de déphosphoration, les superphosphates enfin, sont tellement abondants que rien n'est plus facile que d'apporter des phosphates, là où ils font défaut; il en est de même de la potasse, par conséquent la nutrition minérale des plantes est assurée pour des milliers d'années, mais si la culture des régions septentrionales où le précipitations aqueuses sont suffisantes est assurée contre toute chance de ruine, une autre cause de stérilité exerce au contraire une influence néfaste dans les régions méridionales : c'est la sécheresse.

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 82.
(2) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 327.
(3) *Ann. agron.*, t. XV, p. 199.

§ 151. — La stérilité des régions méridionales est due a la sécheresse.

Le premier besoin de la plante est l'humidité; quand un pays d'abord régulièrement arrosé par la pluie se dessèche, il devient stérile, la population l'abandonne; l'histoire nous enseigne que des contrées autrefois florissantes, désertes aujourd'hui, étaient bien plus humides qu'elles ne le sont maintenant. En Asie, la Palestine était autrefois très peuplée; il en est de même de la Mésopotamie : ces contrées sont maintenant à peine habitées, et l'on ne saurait juger de la fertilité de la terre de Chanaan en parcourant les pachaliks d'Acre et de Damas.

Or, ces contrées étaient autrefois infiniment plus humides qu'elles ne le sont aujourd'hui. On en trouve une preuve très claire dans l'étude des eaux de la mer Morte : leur densité est considérable, elle varie de 1,240, nombre donné par Lavoisier, à 1,194, chiffre trouvé plus récemment par Boussingault. Aucun animal ne peut vivre dans ces eaux extrêmement chargées de chlorures et dans lesquelles les bromures sont déjà très abondants. Le sel cristallise en différents points et forme des masses assez hautes et rappelant le bloc que mentionne l'historien Josèphe comme étant, suivant la tradition, la statue de la fille de Loth.

Ces eaux proviennent cependant de la Méditerranée, dont elles ont été séparées à une époque plus ou moins reculée; pour qu'elles aient acquis le degré de salure qu'elles affectent aujourd'hui, pour que le sel cristallise sur leurs bords, il faut fatalement que l'évaporation soit infiniment plus active que l'arrivée de l'eau.

Aujourd'hui cependant les pluies ne manquent pas absolument en Judée, mais l'eau s'écoule rapidement sur le pays dénudé; le Jourdain se gonfle, l'eau de la mer Morte s'élève parfois de 2 mètres, puis descend rapidement ensuite, sous l'influence d'une évaporation excessive. A l'époque où les Hébreux pénétraient dans le pays, où, pour s'y maintenir, ils eurent à combattre constamment contre les populations industrieuses qui envoyaient leurs vaisseaux dans la Méditerranée jusqu'à Carthage et à Marseille, le sol était loin de présenter une stérilité aussi complète que celle qui le désole aujourd'hui.

Au moment où Ninive et Babylone poussaient leurs guerriers à travers l'Asie jusqu'en Grèce et en Égypte, la population était dense et serrée, elle trouvait donc une terre fertile pour la nourrir. A quelle cause attribuer l'abandon de ces contrées, si ce n'est à ce que les conditions climatériques ont changé et ont rendu la culture impossible?

Nous ne pouvons pas attribuer la dépopulation actuelle de ces pays à un épuisement du sol, semblable à celui qui s'est produit en Algérie, car l'histoire ne rapporte pas que ces contrées aient jamais exporté des quantités considérables de céréales; aussi n'est-ce pas à l'épuisement que nous attribuons la stérilité actuelle de ces contrées, mais bien à la sécheresse qui y règne aujourd'hui.

J'ai eu moi-même sous les yeux en Algérie des exemples de l'influence déplorable qu'elle exerce. A la limite du Tell et des Hauts-Plateaux, dans le

bassin supérieur du Cheliff, j'ai parcouru aux environs de Boghari un pays absolument dénudé, d'une stérilité complète. La route serpente au milieu d'une plaine poudreuse qui semble labourée de la veille. Les tribus qui habitent d'ordinaire ce pays désolé se sont dispersées et cependant l'administrateur de Boghari me disait qu'aux environs, on trouvait les ruines de trois villes romaines importantes; il est visible qu'elles ne s'étaient pas fondées dans un pays absolument dénué de ressources, comme l'est actuellement le haut bassin du Cheliff. Le pays était autrefois plus fertile qu'il ne l'est aujourd'hui; et il est à remarquer, au reste, qu'un seul élément de la production végétale fait défaut; quand les pluies sont abondantes, ainsi que cela arrive en moyenne tous les cinq ou six ans, ce sol desséché, sur lequel nous avons pu voir le mirage, se couvre d'abondantes moissons; aussi les Arabes ensemencent-ils tous les ans, espérant toujours que la pluie viendra donner la vie aux grains qu'ils confient à la terre.

L'eau a une telle importance en Algérie que la densité de la population suit presque exactement la répartition de la pluie : la Kabylie, où il tombe 1,100 millimètres d'eau, est au moins aussi peuplée que la France, tandis que les arrondissements de Mostaganem et de Mascara, où la pluie est rare, ne renferment qu'un petit nombre d'habitants.

Dès le début de l'occupation, malgré les balles des Arabes, malgré les fièvres, dues aux exhalaisons des marais, on s'est établi à Bouffarick, *à Bouffarick le tombeau des colons*, parce que situé dans la cuvette de la Mitidja, les eaux y sont abondantes; aujourd'hui la ville est prospère, les magnifiques plantations de platanes qui ornent ses places et ses avenues, ses vignes luxuriantes, ses jardins où prospèrent les orangers témoignent que le sol est humide.

Aussitôt qu'avec la sonde, on fait jaillir à la surface du Sahara les eaux souterraines de l'Oued Rir, les oasis se créent, en plein désert, au sud de Biskra comme par enchantement. L'eau abondante est donc la condition même de la prospérité de l'agriculture méridionale.

Influence réfrigérante des végétaux. — Quand un sol est couvert de végétaux, il n'est pas désolé par la sécheresse : en effet, les rosées y sont abondantes, les pluies moins rares que sur un sol dénudé, enfin l'eau de la pluie ne s'écoule pas brusquement, elle est retenue et utilisée.

Il est d'observation courante qu'après une nuit sereine, les prairies se couvrent d'une abondante rosée, tandis que les terres labourées sont sèches. Boussingault rapporte l'observation suivante : « Je n'ai jamais eu l'occasion de voir une rosée aussi abondante que celle qui se produit quelquefois dans les steppes de San Martin, à l'est de la Cordilière orientale des Andes, à une grande distance de la mer. Durant les nuits pures et calmes, le gazon de ces plaines immenses reçoit sous forme de rosée une quantité considérable d'humidité qui tempère, par son évaporation, l'excessive chaleur du jour. Dans les climats tropicaux, les forêts contribuent à abaisser la température, à la naissance et à l'entretien des sources en faisant passer la vapeur aqueuse de l'air à l'état de rosée. Dans les régions très chaudes, il est rare de bivouaquer dans une clairière lorsque la nuit est favorable à la radiation, sans entendre l'eau dégoutter continuellement des arbres environnants. Je puis citer entre bon nombre d'observations de ce genre celle que je fis dans une forêt du Caucase. Au *contadiro de las coles*, où je bivouaquai, la nuit était magnifique,

et cependant dans la forêt qui commençait à quelques mètres de distance, il pleuvait abondamment; la lumière de la lune permettait de voir l'eau ruisseler des branches supérieures.

L'influence réfrigérante de la forêt s'étend à une certaine hauteur dans l'atmosphère. Mon ami M. Tissandier m'a raconté plusieurs fois que dans ses ascensions aérostatiques, il avait été obligé de jeter du lest en arrivant au-dessus d'une forêt, tant son ballon se dégonflait par suite du refroidissement. On conçoit donc que l'air chargé d'humidité qui passe au-dessus des bois se refroidisse et que la vapeur qu'il renferme, amenée d'abord à l'état vésiculaire, se condense en pluie.

Pendant un de mes voyages en Algérie, en revenant de Boudzoul à Boghari, j'avais devant moi la montagne qui limite le Tell, je voyais à quelque distance le fort de Boghar qui domine les Hauts-Plateaux et semble les surveiller; le ciel s'était couvert de nuages et nous espérions tous qu'une pluie bienfaisante allait calmer les inquiétudes des habitants, qu'une longue sécheresse menaçait de la famine (c'était en 1881); les nuages s'amoncelaient, et bientôt de longues traînées grises rayant le ciel devant nous montrèrent que la pluie commençait; il pleuvait, mais seulement sur la partie de la montagne encore couverte de bois, les nuages passaient au-dessus des crêtes dénudées, comme ils passaient sur la plaine poussiéreuse, les bois seuls recevaient l'ondée.

Cette influence de la forêt, de la prairie, sur la pluie et la rosée est facile à comprendre depuis que M. Maquenne nous a appris que les feuilles présentent un pouvoir émissif maximum analogue à celui du noir de fumée; exposées au rayonnement nocturne, elles se refroidissent et la vapeur d'eau se condense sur elles (1).

Non seulement, au reste, un pays boisé est plus humide qu'une contrée dénudée, mais en outre, il conserve l'eau, celle-ci est retenue par l'humus qui se forme dans les forêts, elle ne glisse pas immédiatement comme sur une surface rocheuse; en Algérie, les pluies déterminent subitement la crue des cours d'eau : on passe à gué très facilement un cours d'eau, quelques heures plus tard, quand, imprudemment on s'y engage, on a parfois de la peine à s'en tirer; si on attend quelques heures, la rivière rentre dans son lit rapidement. Sans profit, l'eau s'est écoulée à la mer.

Une population industrieuse sait utiliser les eaux pluviales pour la culture, en construisant des barrages, des retenues d'eau; en étudiant la Tunisie, M. de la Blanchère a trouvé en nombre de points des restes de barrage indiquant que les habitants de la Province Romaine savaient tirer partie de toute l'eau que leur amenaient les pluies.

Il est vraisemblable que le pays n'était pas aussi découvert qu'il l'est aujourd'hui après douze siècles d'incurie arabe, mais il est certain, en outre, que les eaux étaient infiniment mieux utilisées qu'elles ne le sont encore actuellement.

L'écoulement rapide des eaux sur les pentes dénudées détermine les inondations désastreuses qui se produisent trop souvent en France dans les Alpes dans les Pyrénées, dans le bassin de la Garonne, aussi bien que dans les vallées qui descendent des Cévennes. Ce sont ces pluies qui ruinent les parties

(1) *Ann. agron.*, t. VI, p. 321. *Recherches sur le pouvoir absorbant et diffusif des feuilles.*

dénudées des Alpes et créent de tels désordres, que le reboisement s'est imposé.

Cette succession de sécheresses implacables puis d'inondations désastreuses est due aux déboisements.

§ 152. — La sécheresse est due aux déboisements.

Les exemples sont nombreux : Suivant Strabon, les Babyloniens avaient à lutter énergiquement contre les inondations de l'Euphrate, qui, à certains moments, auraient couvert le pays si on ne l'eût détourné à l'aide de saignées et de canaux. Au dire de M. Oppert, qui a parcouru cette contrée récemment, les débordements n'ont plus lieu, et les canaux sont à sec. Le fleuve Scamandre, en Troade, était navigable du temps de Pline; de nos jours il n'a pu être retrouvé par Choiseul-Gouffier.

On a remarqué que la disparition du Scamandre a coïncidé avec la destruction des cèdres du mont Ida, où il prenait sa source. M. de Humboldt rapporte que le lac Ticaragua, situé dans la vallée d'Aragua, province de Venezuela, éprouvait au commencement de ce siècle, depuis une trentaine d'années, un desséchement graduel dont on ignorait la cause. En 1822, d'après M. Boussingault, le lac s'était accru et recouvrait des terres antérieurement cultivées. La guerre de l'indépendance ayant en effet détruit la population, les forêts avaient regagné du terrain et rendu leur volume primitif aux rivières dont la réunion forme le lac de Ticaragua. M. Boussingault cite encore d'autres faits analogues. Dans les hauts plateaux de la Nouvelle-Grenade se trouve le village d'Ubate, voisin de deux lacs réunis autrefois en un seul. « Les anciens habitants ont vu successivement les eaux diminuer et de nouvelles plages s'étendre d'année en année; aujourd'hui des champs de blé d'une fertilité extrême couvrent un terrain qui était complètement inondé il y a trente ans. Il suffit de parcourir les environs d'Ubate, de consulter les vieux chasseurs du pays pour rester convaincu que de nombreuses forêts ont été abattues. »

Une des contrées dont l'histoire lamentable est la mieux connue est la Sicile (1). Dans l'antiquité, sous la domination grecque, furent construits de grands aqueducs d'irrigation dont les traces se voient encore aujourd'hui. Pindare, qui visita la Sicile (474 ans av. J.-C,), vante la beauté de ses troupeaux, et Epicarmus, qui naquit 540 ans av. J.-C., écrivit en Sicile un traité de médecine vétérinaire et d'hygiène animale, dont l'existence suffit à démontrer l'importance de l'élevage à cette époque.

Au temps de la domination romaine, la Sicile exportait des céréales et du bétail pour l'alimentation de Rome. Cet état florissant se perpétua pendant l'occupation arabe, puis au moyen âge et même jusqu'à une époque relativement récente.

Suivant Fagello, qui parcourut la Sicile vers la moitié du seizième siècle, l'agriculture ne laisse rien à désirer; il décrit de vastes plaines régulièrement irriguées, il énumère les produits en froment, vins, huiles, animaux fournis par les différentes parties de l'île, en insistant particulièrement sur l'abondance des eaux d'irrigation.

Au dix-huitième, tout est changé. Balsamo, dans son *Journal de voyage en*

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 377.

Sicile, écrit : « L'agriculture y est dans un état tellement mauvais que, à peine on peut lui donner le nom de pastorale. » Sartorius de Walterhausen, qui a étudié l'Etna avec le plus grand zèle, parlant des causes de la décadence agricole de la Sicile, s'exprime ainsi : « En premier lieu, le déboisement général qui a été pratiqué dans ces derniers siècles d'une manière désolante a amené la dessiccation du sol des montagnes et l'irrigation, absolument nécessaire dans un climat presque tropical comme celui de la Sicile, est devenue impossible. »

M. Boescu, professeur à l'École d'agriculture de Bucharest, assure que des sécheresses persistantes se produisent en Roumanie depuis que très inconsidérément on a déboisé une partie de ce pays. M. Capus (1) a rapporté de ses voyages dans le Turkestan des renseignements intéressants : « Dans les vieux manuscrits qui traitent de l'Asie centrale, on voit que les montagnes du Turkestan étaient autrefois boisées. Ces forêts n'existent plus aujourd'hui... Le climat et le régime des eaux du Turkestan devaient donc être autrefois différents de ce qu'ils sont actuellement. La pluie est rare, les irrigations sont nécessaires; or l'eau qui leur est destinée est aujourd'hui insuffisante; les cultures étaient autrefois beaucoup plus étendues qu'elles ne le sont maintenant, témoins les traces d'anciens canaux dérivés du Syr-Darya et du Zerofschâne, qu'on trouve, par exemple, dans la steppe de la faim, qui était autrefois cultivée, témoins les ruines étendues de cités florissantes dans la vallée du Sourchâne et les ruines de l'Oust-Our.

« Le climat de Taschkend a changé depuis que les Russes y ont planté des arbres nombreux; il en est de même à Samarcande où naguère les étés se passaient sans qu'aucune averse ne vînt féconder le sol, tandis qu'aujourd'hui il pleut quatre ou cinq fois pendant la saison chaude. »

§ 153. — Les causes du déboisement.

Ces causes sont variées; les dévastations des forêts sont dues :

1° A une exploitation excessive;

2° A une destruction systématique pour faire place aux cultures de plantes alimentaires;

3° A l'action des animaux.

Exploitation. — Quand l'exploitation des bois est régulièrement conduite, que la forêt est aménagée, sa conservation est assurée, mais cette sage exploitation n'est établie que dans les pays où l'on a reconnu l'intérêt du domaine forestier, et il est loin d'en être ainsi dans les pays neufs où l'homme cherche à tirer parti de toutes les richesses naturelles.

L'Amérique septentrionale a été ainsi déboisée sans mesure, et cette exploitation se continue encore de nos jours. Sir David Hooker (2) rapporte que les forêts de sequoïa de Californie vont bientôt disparaître. « La condamnation de ces nobles forêts est arrêtée. Tout récemment cinq grandes scieries mécaniques ont été établies dans la plus florissante de ces forêts, et une seule de ces usines a débité, en 1875, deux millions de pieds cubes de bois du *Big tree*. Une nouvelle compagnie vient de se former pour l'abatage d'un autre groupe. Dans ces exploitations californiennes, le gaspillage des arbres est effrayant.

(1) *Ann. agr.*, t. VIII, p. 239.
(2) *Ann. des sc. nat. bot.*, 6e série, t. VI, p. 338.

On commence par abattre les arbres jeunes et encore maniables, après quoi on incendie la forêt pour l'éclaircir et pouvoir atteindre d'autres arbres jeunes, ce qui empêche toute reproduction de l'espèce. Mais ce qui est plus destructif encore, ce sont les opérations des fermiers éleveurs de moutons, qui mettent le feu à toute végétation arborescente et arbustive pour étendre et améliorer le pâturage sur lequel des troupeaux qui se comptent par dizaines de mille têtes broutent jusqu'à la dernière feuille. Les sauterelles font moins de ravages. La dévastation des forêts californiennes s'exécute sur une si vaste échelle et avec tant de rapidité qu'on ne saurait s'en faire une idée avant de l'avoir vue. Il est vrai que quelques-uns des groupes les plus insignifiants de *sequoïa* à l'extrême limite nord de l'espèce sont protégés par une loi de l'État qui défend de couper les arbres de plus de quinze pieds de diamètre, mais il n'y a pas de loi pour protéger les jeunes arbres qui renouvelleraient la forêt, ni pour défendre d'incendier les vieux. Et ceux-là même, s'ils échappent au feu des ravageurs, n'échappent point à la sécheresse, suite inévitable des déboisements du pays.

« Depuis vingt-cinq ans, l'Anglo-Saxon s'est jeté avec une rage aveugle, le feu et la scie à la main, sur les forêts de la Californie, détruisant tout ce qu'il ne pouvait utiliser, n'épargnant rien, ni arbres jeunes, ni arbres vieux. Il ne s'écoulera peut-être pas un siècle que les deux sequoïa ne seront plus connus que comme échantillons d'herbiers ou ornements de nos jardins, et en ce qui concerne plus spécialement le *Big tree*, le plus noble de la noble tribu des conifères, la génération qui l'a découvert pourra durer assez longtemps pour dire : Voici la place où il a vécu ! *Hic fuit Ilium !* »

Nous avons tenu à reproduire ce passage du mémoire de sir David Hooker sur la flore de l'Amérique du Nord parce qu'il indique très bien comment les choses ont dû se passer sur un grand nombre de points du globe où les forêts ont été détruites pour utiliser le bois, ou même tout simplement pour transformer en terres arables les surfaces qu'elles occupaient.

Déboisement. — Quand les hommes abordent un pays encore désert, ou quand des cultivateurs se substituent aux chasseurs, ainsi que cela est arrivé dans l'Amérique septentrionale, il faut fatalement abattre une partie de la forêt pour cultiver le sol ; et il arrive presque toujours que le déboisement continue sans interruption, jusqu'au moment où l'État constitué l'interdit absolument ; or, ce moment n'arrive que lorsque le mal est très avancé. Il est naturel qu'il en soit ainsi : la population s'accroît, il lui faut une plus grande étendue de terre qu'elle emprunte à la forêt ; habituellement en outre, la culture étant pratiquée sans engrais, après dix, vingt ou trente récoltes, les rendements baissent, la forêt est là, voisine, avec ses réserves de fertilité, on abandonne la terre épuisée et on défriche une nouvelle surface, et si ces dévastations successives ont lieu dans un pays chaud, la quantité de pluie décroît, ou bien les averses jettent sur le sol dénudé des eaux qui s'écoulent rapidement sans profit, la stérilité arrive, et le cultivateur, incapable de tirer du sol les aliments qui lui sont nécessaires, devient pasteur ; or, il n'est pire ennemi de la forêt que le berger.

Il la dévaste par le feu et par la dent de ses animaux.

Dans les pays chauds, la prairie se dessèche facilement, elle se couvre d'une herbe dure que les animaux ont de la peine à brouter ; aussi, quelque temps avant la saison des pluies, le berger met-il le feu à ces herbes sèches : elles

brûlent, laissent sur le sol des cendres qui le fécondent, et quand les pluies arrivent, une herbe jeune et tendre repart du pied, offrant aux animaux des pâturages dont ils profitent avidement; malheureusement le feu se communique souvent de la prairie à la forêt voisine, et comme elle est formée seulement d'arbres à feuillage persistant, qui ne sont pas gorgés d'eau comme nos arbres à feuilles caduques, la flamme s'y propage facilement; dans notre Algérie, les incendies sont fréquents, quelquefois dus à des imprudences; ils le sont souvent aussi au désir qu'a le berger de diminuer la surface de la forêt et d'augmenter l'espace sur lequel il peut conduire ses animaux.

Ce n'est que récemment et surtout dans les régions septentrionales que la culture assure à l'animal une nourriture abondante pendant toute l'année; dans toutes les régions méridionales, le mouton voyage, il passe toute la belle saison sur la montagne, où persistent les pâturages que la sécheresse a détruits dans la plaine; or, cet envahissement de la montagne par les moutons et surtout les chèvres est encore une cause de la destruction des forêts; quelques exemples sont restés célèbres : Quand on a découvert l'île de Sainte-Hélène, il y a quatre cents ans, elle était couverte de forêts qui descendaient dans les ravins jusqu'au bord de la mer. En 1513, on introduisit dans l'île, un troupeau de chèvres; elles s'y multiplièrent tellement qu'en 1588, le capitaine Cavendish en vit des bandes longues de 2 kilomètres. En 1709, il n'existait plus que quelques forêts; ce n'est que cent ans plus tard qu'on se décida à détruire les chèvres : presque toute la flore primitive de l'île avait disparu.

Toute la partie de l'Algérie parcourue par les nomades est privée de véritables forêts; on peut reconnaître de loin la présence des Européens par les bouquets de bois qui s'élèvent de place en place aux points qu'ils occupent; en Espagne où l'élevage du mouton a été très répandu, l'absence de végétation forestière frappe tous les voyageurs; les Castilles, la Manche, l'Estramadure sont absolument dénudées.

On trouve dans les Alpes nombre de souches pourries à des hauteurs si considérables, qu'on avait cru d'abord que la végétation forestière ne pouvait les atteindre, on est aujourd'hui convaincu du contraire; ce sont les moutons qui parcourent pendant l'été ces hautes régions qui ont détruit les forêts qui couvraient jadis les pentes actuellement dépouillées.

Ces exemples suffisent à faire comprendre comment des pays autrefois fertiles sont aujourd'hui abandonnés; le point de départ est une mauvaise pratique agricole : la culture sans engrais; elle détermine l'épuisement du sol en humus, le sol perd de sa fécondité, le cultivateur l'abandonne et défriche la forêt voisine pour y trouver une terre neuve dont la culture est avantageuse; dès lors le mal est commencé, car la première partie défrichée est bientôt épuisée à son tour, et le défrichement continue; à mesure que la forêt diminue, la sécheresse augmente, peu à peu le pays devient moins productif, et bientôt le cultivateur renonce à un travail ingrat qui ne le récompense pas de ses peines, il devient pasteur, et dès lors le pays est perdu, car pendant la sécheresse de l'été la montagne seule offre des pâturages; il faut y conduire les moutons et les chèvres qui amènent la destruction du domaine forestier; la contrée devient aride, la population émigre, laissant les ruines des anciennes cités qui témoignent seules de la fécondité disparue.

Conclusion. — L'épuisement des terres arables dans la région septentrionale n'est pas à craindre. — Nous venons de voir dans ce chapitre que la culture de la région septentrionale, largement approvisionnée d'acide phosphorique et de potasse, par les gisements reconnus de ces deux substances ne sera jamais entravée dans ses progrès par l'épuisement du sol en matières minérales; nous avons vu en outre que la matière ulmique se reforme dans les sols fatigués à l'aide des apports de fumier de ferme et des enfouissements d'engrais verts et que, par suite, aussitôt qu'on jugera un sol épuisé de carbone, on pourra lui en restituer des quantités suffisantes.

La pénurie de fumier est même moins à craindre aujourd'hui qu'autrefois, car actuellement nous considérons le fumier comme représentant l'engrais carboné et non plus comme l'engrais devant apporter tous les éléments nécessaires pour assurer l'alimentation des récoltes; nous pouvons donc diminuer la quantité à distribuer à chaque pièce, en complétant ce qui peut manquer d'azote, d'acide phosphorique et de potasse par des engrais spéciaux.

Il est bien à remarquer, au reste, que les avantages que présentent habituellement les spéculations animales tendent à augmenter plutôt qu'à restreindre la quantité de fumier disponible.

Le seul élément dont nous ne puissions pas disposer à volonté est l'azote; les faits exposés dans ce chapitre montrent que l'azote de l'air intervient dans les phénomènes de la végétation, nous connaissons aujourd'hui avec certitude l'action améliorante de la culture des légumineuses, nous savons même que les sels appauvris récupèrent lentement l'azote combiné qu'ils ont perdu; mais jusqu'à présent ces gains d'azote ne se produisent qu'avec une telle lenteur que s'ils suffisent à préserver de la stérilité les sols en prairie ou ceux qui ne portent que de faibles récoltes, ces gains sont bien loin de suffire à l'alimentation des récoltes à grands rendements que nous devons rechercher.

Il est donc du plus haut intérêt d'éviter les déperditions, — et je crois que la pratique des cultures dérobées pour engrais vert pourra y contribuer, — et d'autre part d'utiliser aussi complètement que possible, toutes les sources d'azote combiné que nous possédons; le gaspillage des matières des vidanges, qui tend à s'introduire de plus en plus dans toutes les villes où se pratique le déversement des vidanges dans les égouts, est une cause d'appauvrissement qui se fera cruellement sentir quand nous ne pourrons plus combler le déficit qu'elle occasionne par l'introduction du nitrate de soude du Pérou.

Si nos sols arrosés par la pluie sont préservés de la stérilité qui atteint les régions méridionales mal arrosées, ils ne conservent aujourd'hui leur grande force de production que grâce à des apports d'azote combiné provenant d'Amérique; c'est là évidemment une condition anormale, dangereuse pour l'avenir et qui pourrait porter un coup funeste à notre prospérité agricole, si d'ici à l'épuisement des gisements de nitrate de soude, la chimie ne sait pas engager directement en combinaisons l'azote atmosphérique, soit en mettant en jeu des forces physiques, soit en profitant des actions microbiennes, soit, si l'habileté des chimistes est impuissante à triompher des résistances à la combinaison que présente l'azote atmosphérique en utilisant plus complètement qu'on ne le fait actuellement les masses d'azote combiné, résidu de l'alimentation humaine, aujourd'hui presque complètement perdues.

TROISIÈME PARTIE

AMENDEMENTS ET ENGRAIS

PREMIÈRE SECTION

AMENDEMENTS

Nous désignons sous le nom d'*amendements* les substances destinées à rendre assimilables par les végétaux les principes contenus dans la terre arable, qui dans les conditions normales y restent inutilisés.

Les travaux que nous avons résumés dans le chapitre IV de la seconde partie de cet ouvrage nous ont démontré que si la terre arable renferme des proportions considérables de matières azotées, de phosphates, de potasse, etc., si, par conséquent, elle paraît au premier abord pourvoir fournir d'abondantes récoltes sans addition d'aucunes sortes, ces matières azotées, ces phosphates, ces roches riches en alcalis, sont généralement complètement insolubles dans l'eau, souvent inattaquables par les sucs des racines et par suite inutiles tant qu'ils n'ont pas été modifiés et métamorphosés en substances assimilables.

L'étude de toutes les pratiques agricoles qui ont pour but de favoriser l'assimilation par les végétaux des substances contenues dans la terre arable, est l'objet de cette section. C'est ainsi qu'elle comprendra non seulement l'exposé de l'emploi des matières calcaires sous toutes ses formes : chaux, marne, tangue, etc., de l'emploi du plâtre, mais encore celle de deux opérations agricoles qui ont pour effet de modifier profondément la composition des principes contenus dans le sol, ou même de changer ses propriétés physiques :

sous l'influence de l'air atmosphérique agissant pendant la *jachère*, sous l'influence du feu pendant l'*écobuage*, des matières inertes deviennent assimilables, et par suite nous plaçons ces deux pratiques agricoles à côté du *chaulage*, du *marnage* et du *plâtrage*. Cette section se terminera enfin par l'étude de l'emploi de l'eau qui en dissolvant les principes solubles, ou favorisant les réactions qui entrent en jeu dans la terre arable, contribue à l'alimentation azotée et minérale de la plante, en même temps qu'elle lui permet de lutter contre l'évaporation; le chapitre IV est consacré aux *irrigations*.

CHAPITRE PREMIER

AMENDEMENTS CALCAIRES. — MARNES. — CHAUX. TANGUES.

L'usage des amendements calcaires est extrêmement ancien. Pline nous apprend que les bons effets de la marne sur la végétation étaient connus des Gaulois, des Bretons, des Grecs et des Romains; c'est aux populations de la Gaule et de l'Angleterre qu'il attribue la découverte de l'utilité de cet amendement, auquel elles attachaient une telle importance, qu'elles n'hésitaient pas à se livrer à de pénibles travaux pour se le procurer et pour le transporter à des distances considérables.

Il est probable que, pendant les troubles du moyen âge, l'usage de la marne, abandonné dans bien des contrées, se conserva cependant dans quelques localités : en 1580, Bernard de Palissy consacra à son étude, un de ses fameux dialogues entre « Théorique et Pratique », où des idées remarquablement fines et justes se trouvent mêlées aux imaginations les plus singulières.

L'emploi des vases de mer, de la tangue, du trez, des dépôts coquilliers, est, probablement aussi, fort ancien; mais l'usage de la chaux ne paraît pas remonter à une époque aussi reculée. Il semble que ce soit seulement au commencement du dix-septième siècle qu'il se soit propagé peu à peu. Olivier de Serres le mentionne dans son *Théâtre d'agriculture* (t. I, p. 127) : « La chaux neuve, dit-il, est de grande efficacité pour telles choses (l'amendement des terres), laquelle, meslée avec quelques terriers, balieures ou autres fumiers, et jetée aux champs au commencement de l'hyver, l'engraisse très bien, et, selon son naturel chaud, tue les bestioles et

les racines des herbes nuisantes. En quoi la chèreté n'est pas tant considérable, quoique la chaux coûte de l'argent, que le profit en revenant est asseuré comme ce mesnage s'est dès longtemps pratiqué aux pays de Gueldres et de Juilliers. »

Aujourd'hui que le transport des matières encombrantes et de peu de valeur se trouve singulièrement facilité par les chemins de fer, l'emploi des amendements calcaires se répand de plus en plus, et avec grand profit. Il est certaines contrées qui doivent à l'usage de la chaux ou de la marne une véritable transformation agricole : la Mayenne et la Sarthe, le Limousin en ont tiré grand profit; la Sologne aujourd'hui s'améliore sous l'influence de la marne, et le commerce auquel ces amendements donnent naissance est des plus actifs.

L'étude des amendements calcaires présente donc pour l'agriculteur un très grand intérêt ; elle est digne aussi de fixer l'attention des chimistes agronomes, car, malgré des travaux nombreux et importants, toutes les questions qui touchent à l'emploi agricole de la chaux et de la marne sont loin d'être complètement élucidées.

§ 154. — De la marne.

Propriété caractéristique. — On désigne sous le nom de *marne* une variété de calcaire qui a la propriété de se déliter dans l'eau et de se réduire en poudre par l'effet de la gelée. Le premier essai qu'on doit tenter sur une pierre calcaire, qui par conséquent fait effervescence avec les acides, pour reconnaître si elle peut être utilisée comme marne, est donc de voir comment elle se comporte dans l'eau : si elle reste dure et compacte, elle ne peut être utilisée qu'après cuisson; si au contraire elle se délite, elle peut être considérée comme marne et elle aura d'autant plus de valeur que son délitement sera plus complet.

Diverses variétés de marnes. — Les substances qui sont mélangées au calcaire et qui lui donnent la propriété de se désagréger dans l'eau sont assez nombreuses, et, suivant que l'une ou l'autre de ces substances domine, les marnes ont reçu des noms différents.

C'est ainsi qu'on désigne sous le nom de *marnes calcaires*, celles qui renferment au moins 50 et au plus 90 à 95 p. 100 de carbonate de chaux, le reste étant de l'argile ou un mélange d'argile et de sable. Cette variété de marne convient particulièrement aux terres entièrement dépourvues de carbonate de chaux. Les *marnes argi-*

leuses sont celles qui contiennent de 10 à 50 p. 100 de calcaire, de 50 à 75 p. 100 d'argile, le reste étant du sable. Ces marnes sont bonnes dans les terres légères, surtout dans les terrains siliceux.

On emploiera de préférence dans les terres fortes les marnes *siliceuses*, qui renferment de 10 à 50 p. 100 de calcaire, de 25 à 75 p. 100 de sable, le reste étant de l'argile. Les *marnes magnésiennes* sont celles qui contiennent de 5 à 30 p. 100 de carbonate de magnésie. Elles sont assez rares en France, plus abondantes en Angleterre. On a prétendu souvent qu'elles ont une action spéciale, qui est loin d'être élucidée. On rencontre quelquefois des marnes mélangées à une petite quantité de gypse : elle sont alors connues sous le nom de *marnes gypseuses;* leur effet sera surtout sensible sur les prairies artificielles. (Voyez plus loin le chapitre PLATRAGE.)

La marne, d'après la rapide nomenclature précédente, est donc formée d'éléments variés qui se comportent très différemment avec l'eau ; tandis que l'argile s'y délaye facilement, le sable et le calcaire n'ont pas cette propriété, et il suffit que le liquide pénètre dans la masse pour y déterminer des dilatations inégales qui amènent des ruptures de plus en plus complètes. A cet effet de l'eau liquide, vient s'ajouter, pendant l'hiver, l'action singulièrement plus énergique de la gelée; on sait, en effet, que la force expansive de la glace est énorme, que des métaux, même très tenaces, n'y résistent pas, et l'on conçoit que sous son effort un mélange aussi peu cohérent que la marne soit immédiatement pulvérisé.

Analyse chimique et physique des marnes. — La marne agit surtout par le calcaire qu'elle renferme; il faut donc, pour se rendre compte de sa valeur, déterminer la quantité de ce calcaire qui y est contenue. Cette détermination ne présente aucune difficulté; elle s'exécutera exactement comme la recherche du calcaire dans la terre arable, qui a été décrite § 64, et auquel nous renvoyons le lecteur.

Cette première analyse ne suffit pas encore pour que le cultivateur soit fixé sur la valeur de la marne qu'il veut employer. En effet, le carbonate de chaux qu'elle renferme peut se trouver sous deux états différents : quand il est *terreux*, il se mélange facilement au sol, il est rapidement soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique, son action est plus efficace que celle du *sable calcaire*; de telle sorte qu'il importe de distinguer ces deux variétés de carbonate de chaux. On y réussira en lavant la marne à étudier, comme une terre arable dont on veut faire l'analyse physique; on séparera par des lavages la partie terreuse de la marne de la partie sablonneuse (§ 64), puis on desséchera chacune de ces matières afin de les peser séparément; on prélèvera ensuite sur les deux parties un petit échantillon dans equel on fera le dosage de la chaux:

on trouvera ainsi le calcaire terreux et le calcaire sablonneux. En retranchant la quantité centésimale de ces deux matières des poids respectifs de la partie terreuse et de la partie sablonneuse, on trouvera par différence, d'une part l'argile, de l'autre le sable siliceux, et l'on aura ainsi une idée très complète de la composition de la marne étudiée.

§ 155. — De la chaux.

Cuisson de la chaux. — Il existe à la surface du globe un très grand nombre de variétés de calcaires qui n'ont pas la propriété de se déliter dans l'eau ; leur pulvérisation par des moyens mécaniques serait très coûteuse : aussi l'agriculture devrait-elle renoncer à les employer, si l'on ne savait, depuis un temps immémorial, que sous l'action du feu, le carbonate de chaux se décompose, perd son acide carbonique et se réduit en chaux, qui, abandonnée à l'air humide ou mêlée à de petites quantités d'eau, se gonfle, se fendille, puis se réduit en une poudre impalpable qu'on désigne sous le nom de *farine de chaux.*

La cuisson de la chaux s'exécute dans des fours de formes très variées, suivant que la fabrication est continue ou intermittente, suivant qu'on veut préparer de la chaux pure, ou qu'il est indifférent qu'elle soit mélangée aux cendres du combustible. La description des fours à chaux se trouve dans tous les traités de chimie générale, et nous y renvoyons le lecteur.

Diverses variétés de chaux. — La qualité des chaux obtenues varie avec la nature des calcaires dont elles proviennent. Les calcaires très purs donnent une chaux qui se gonfle et se boursoufle, *foisonne* aussitôt qu'elle est mise en contact avec l'eau ; l'élévation de température est considérable. Cette variété est désignée sous le nom de *chaux grasse.*

Les calcaires qui renferment une proportion notable de sable donnent des chaux qui foisonnent beaucoup moins que les précédentes ; elles n'augmentent pas de volume de la même façon. On les désigne sous le nom de *chaux maigres.*

Enfin, on appelle *chaux hydrauliques* celles qui sont fournies par les calcaires qui renferment une proportion notable d'argile ; ces chaux sont précieuses pour la construction, elles durcissent après leur mélange avec l'eau, et conservent leur dureté après l'immersion dans l'eau. Elles sont particulièrement employées pour les constructions qui doivent être immergées.

On distinguera facilement ces diverses variétés de chaux les unes

des autres en attaquant la chaux éteinte ou le calcaire primitif par l'acide chlorhydrique étendu, et examinant la nature du résidu insoluble : s'il crie sous la baguette de verre, c'est du sable, et la chaux est maigre ; si, au contraire, il est doux au toucher, d'aspect terreux, c'est de l'argile, la chaux est hydraulique, et ne devra être employée qu'après son extinction complète à l'air : car, ainsi qu'il a été dit, elle durcit dans l'eau, si donc elle était répandue après la cuisson sans s'être dilatée, à la première pluie, elle durcirait sur le sol et serait plus nuisible qu'utile. Enfin, si le résidu insoluble laissé par l'acide chlorhydrique est très faible, la chaux est grasse.

On séparera ce résidu insoluble par le filtre, quelle que soit sa nature, et l'on dosera la chaux dans la liqueur filtrée comme il a été dit plus haut (§ 64).

Il arrive parfois que les chaux sont mal cuites, que des morceaux de calcaire ont passé dans le four sans se décomposer; on pourra en apprécier la quantité en pesant une certaine quantité de chaux, l'éteignant, puis la noyant dans l'eau, de façon à faire un *lait de chaux* qu'on jettera sur un tamis médiocrement fin : le lait de chaux passera, et les *incuits* restés sur le tamis seront pesés après dessiccation.

§ 156. — Actions qu'exercent les amendements calcaires sur la terre arable.

Avant d'indiquer le mode d'emploi des amendements calcaires, les quantités qu'il en faut répandre sur diverses terres, il convient de discuter les travaux importants qui ont été publiés sur l'utilité du chaulage et du marnage.

Les amendements calcaires n'ont pas seulement pour but de fournir aux plantes la chaux qu'on trouve dans leurs cendres. — L'idée la plus simple qui se présente à l'esprit quand on cherche à expliquer les bons effets de l'emploi des calcaires, est de supposer qu'ils ont pour effet de remplacer dans la terre arable la chaux qui est prélevée par les récoltes; si l'on compare cependant les quantités de chaux données au sol au poids de cette base qu'exigent les diverses cultures, on est convaincu d'abord qu'elle doit avoir une autre utilité. Il est à remarquer, en effet, qu'on chaule encore avec avantage des terres dans lesquelles il existe une quantité de chaux suffisante pour subvenir aux besoins des plantes pendant de longues années; la quantité prélevée par nos plantes cultivées est en outre

hors de toute proportion avec celle que le sol reçoit dans un chaulage moyen : une récolte ordinaire de pommes de terre, développée sur un hectare, absorbe en effet environ 9 kilogrammes de chaux; une récolte de froment, 26 kilogrammes; une de betteraves, 24 kilogrammes; une de topinambours, 14 kilogrammes, et une de trèfle, 100 kilogrammes. Les plantes cultivées ne prélèvent donc sur le sol que de très faibles quantités d'eau, l'on ne comprendrait pas la nécessité d'enfouir dans le sol 13 000 à 54 000 kilogrammes de chaux à l'hectare, quantités qui correspondent de 100 à 400 hectolitres, si cette terre alcaline n'avait d'autre utilité que de remplacer celle qui est prélevée par les récoltes.

Dans quelques cas l'utilité de la chaux n'est pas douteuse, quand, par exemple, le sol renferme des veines pyriteuses qui, en s'altérant à l'air, donnent du sulfate de fer, ainsi qu'on l'a observé déjà dans un certain nombre de terrains, et notamment dans un domaine situé sur les sols provenant du desséchement du lac de Harlem (voyez § 146), l'intervention de la chaux, qui décompose ce sulfate pour le remplacer par du plâtre complétement inoffensif, est nettement indiquée. Mais dans la plupart des cas, la chaux porte son action sur les matières enfouies dans la terre arable, et y provoque des métamorphoses que nous allons essayer de faire connaître.

Action de la chaux sur les propriétés physiques des terres arables. — Nous avons insisté déjà dans la seconde partie, page 363, sur l'action qu'exercent les sels de chaux sur les propriétés de l'argile; nous avons rappelé l'expérience de M. Schlœsing, dans laquelle on voit une argile en suspension dans l'eau distillée se coaguler aussitôt qu'elle est mise en présence d'un sel de chaux et se précipiter au fond des vases.

Il ne paraît pas douteux, bien que des expériences précises manquent encore sur ce sujet, que des terres fortes formant facilement avec l'eau des masses plastiques, imperméables, emprisonnant les liquides ne soient profondément modifiées par l'action de la chaux.

Sur les terres fortes, l'emploi de la chaux ou de la marne est très avantageux; les terres fortes de Blaringhem appartenant à mon collaborateur et ami feu M. Porion n'ont pu donner des récoltes avantageuses qu'après avoir été fortement marnées; le marnage combiné au drainage a permis de les travailler convenablement.

Les domaines appartenant à la sucrerie de Bourdon, situés dans la Limagne d'Auvergne, sont formés d'une terre très argileuse :

depuis dix ans, on y incorpore de grandes quantités d'écumes de défécation et quand les labours sont contrariés par les pluies d'automne, les terres, ainsi amendées avec les écumes, sont abordables deux ou trois jours plus tôt que les terres voisines, qui ne reçoivent pas d'amendements calcaires.

On conçoit réciproquement que si l'emploi des amendements calcaires est très avantageux dans les terres fortes en les rendant plus filtrantes, moins humides, ces amendements exercent une influence fâcheuse sur les terres légères; c'est précisément ce qu'on observe sur le sol de Grignon; la terre y souffre bien plus de la sécheresse que de l'humidité, les années humides sont bien plus favorables que les années sèches, aussi l'action de la chaux est-elle funeste, quelques essais nous ont montré qu'il fallait absolument la proscrire.

Action de la chaux sur les matières azotées du sol. — Cette action a été étudiée par Boussingault (1). Il a reconnu que l'addition de la chaux, provoque la formation de l'ammoniaque aux dépens des matières azotées du sol; il est facile de le démontrer; on mélange de la terre qui n'est que médiocrement humide à de la chaux vive, on introduit le mélange dans un petit ballon, fermé par un bouchon muni d'un petit tube droit assez large, pour qu'on puisse y introduire en le pliant un papier de tournesol humide; après quelques instants, il est nettement bleui; Boussingault a reconnu au reste que les quantités d'ammoniaque formées sont trop faibles pour qu'on puisse supposer que le chaulage ait pour principale utilité, l'attaque des matières azotées du sol. Si un chaulage équivavalait à l'emploi des sels ammoniacaux, l'acquisition de ceux-ci serait évidemment plus avantageuse.

Boussingault avait trouvé, dans les recherches que nous résumons en ce moment, que la chaux n'exerce aucune action favorable sur la nitrification; il est facile d'en saisir la raison; il avait additionné la terre d'une dose de chaux énorme, incompatible avec le fonctionnement du ferment nitrique; M. Warington a montré depuis, en effet, que l'alcalinité de l'eau de chaux est trois fois supérieure à celle qui convient à la nitrification.

Tous les auteurs qui récemment se sont occupés de la nitrification ont reconnu qu'elle n'avait lieu que dans un milieu très légèrement alcalin; l'introduction de la chaux dans une terre où l'abondance des matières organiques détermine plutôt une réaction acide

(1) *Chim. agr.*, t. III, p. 149.

sera donc très favorable, non pas au moment même où la chaux est introduite, cas qui a été observé par Boussingault, mais après quelques mois quand la chaux ajoutée se sera carbonatée. La nitrification deviendra même d'autant plus active que la chaux aura provoqué la formation d'une plus forte proportion d'ammoniaque, qui passe très rapidement à l'état d'acide azotique, dans une terre humide pourvue de calcaire. On sait que les terres de prairies, les terres de forêts sont souvent dépourvues de nitrates, ceux-ci y apparaissent après les chaulages.

Ainsi non seulement, comme l'a montré Boussingault, la chaux provoque la formation de l'ammoniaque, mais en outre après quelque temps, quand elle a perdu sa causticité, elle favorise la nitrification.

Il est bien à remarquer au reste que la marne remplit ce dernier office aussi bien que la chaux; pour que l'acide nitrique se forme régulièrement, il faut qu'il trouve une base qui le sature à mesure de sa production, et le carbonate de chaux terreux de la marne remplira très bien cette fonction s'il est mélangé au sol aussi complètement que la farine de chaux.

Action de la chaux sur les matières noires du fumier. — L'action de la chaux sur les matières ulmiques est encore mal déterminée, cependant l'expérience suivante est facile à réaliser: on prépare la matière noire du fumier en faisant passer dans une masse de fumier un courant de vapeur d'eau où elle se condense et dissout la matière soluble, qu'elle entraîne peu à peu; si on verse alors dans le liquide ainsi préparé un sel de chaux, on voit la liqueur se décolorer, la matière noire est précipitée; elle ne se dissout en effet que dans les liquides chargés de carbonates alcalins, or, les sels de chaux décomposent le carbonate de potasse aussi bien que celui d'ammoniaque, et la matière noire privée de son dissolvant se précipite. Cette expérience expliquerait le fait observé autrefois par le baron P. Thenard sur la décoloration des eaux de drainage des terres calcaires récemment fumées.

Il est bien à remarquer cependant que cette décoloration n'est pas tout à fait complète, l'eau reste ambrée; la chaux maintient en dissolution une faible quantité de matières ulmiques, et cette dissolution exerce une influence favorable sur un grand nombre de végétaux. — Nous avons exécuté, M. Bréal et moi, quelques expériences sur ce sujet (1):

(1) *Ann. agron.*, t. IX, p. 68.

Du froment en germination a été enraciné dans l'eau ordinaire et dans diverses dissolutions : or, tandis que les nouveaux organes issus de dix grains pesaient après dessiccation complète $0^{gr},45$ quand les radicelles plongeaient dans l'eau ordinaire, ces organes pesaient $1^{gr},05$ quand les jeunes plantes étaient enracinées dans une dissolution d'ulmate de chaux. Il en fut de même pour des lentilles, tandis que les nouveaux organes secs, de dix plantes enracinées dans l'eau ordinaire, où elles avaient, comme dans le cas précédent, de la chaux à leur disposition pesaient $0^{gr},275$, ceux qui s'étaient développés dans l'ulmate de chaux avaient un poids de $0^{gr},400$; enfin dans une culture de haricot d'Espagne qui dura près de deux mois, on trouva qu'un haricot élevé dans une dissolution d'ulmate de chaux pesait après dessiccation $3^{gr},41$, tandis que dans l'eau ordinaire additionnée de nitrate et de phosphate de potasse il ne pesait sec que $1^{gr},56$.

On conçoit donc que lorsque la chaux fait défaut dans un sol, son addition permette d'abord une évolution plus facile et plus rapide des graines puisque nous avons vu que la germination ne fait habituellement aucun progrès dans l'eau distillée, tandis qu'elle suit sa marche régulière dans de l'eau calcaire (1), et qu'en outre la chaux donne avec les matières noires du fumier une dissolution qui favorise le premier développement de la plante, et lui assure au moment où elle est le plus délicate une vigueur très favorable à son développement ultérieur.

Influence du chaulage sur la solubilité de l'acide phosphorique enfoui dans la terre arable. — Nous avons insisté plus haut (§ 83) sur l'importante observation de M. P. Thenard, relativement à l'état sous lequel se trouve l'acide phosphorique contenu dans la terre arable; il a montré que c'est souvent sous forme de phosphate de sesquioxyde de fer ou d'alumine qu'on l'y rencontre.

Ces phosphates de sesquioxyde insolubles dans l'acide carbonique ne sont pas cependant perdus pour la végétation; ils sont en effet partiellement ramenés à l'état de phosphates de protoxyde par les carbonates, à la *condition que ceux-ci soient employés en excès*, ainsi que le montre l'expérience suivante (2) : Deux grammes de phosphate de fer furent mélangés à 4 grammes de carbonate de chaux pur précipité, puis immergés dans l'eau de Seltz; après quelques heures on obtient $0^{gr},107$ d'acide phosphorique en dissolution.

(1) Voyez § 10, p. 53.
(2) *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1860.

Ainsi, un excès de carbonate de chaux peut amener la dissolution de l'acide phosphorique contenu dans les phosphates à base de sesquioxyde, de même qu'un excès de sesquioxyde, exerçant une action directement inverse, s'empare de l'acide du phosphate de chaux dissous dans l'acide carbonique; l'influence des masses est prédominante. Cette observation est importante, car elle explique l'utilité des poids considérables de chaux qu'on doit employer; si, en effet, dans la couche arable qu'il s'agit de modifier, le carbonate de chaux ne domine pas sur les sesquioxydes libres, la dissolution n'a pas lieu, l'effet cherché n'est pas obtenu.

Ainsi un des effets utiles du chaulage à haute dose est de rendre solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et par suite assimilables les phosphates de sesquioxyde qui se produisent soit dans la rétrogradation des superphosphates avant la vente, soit dans les transformations que subissent les phosphates introduits dans le sol.

Millot, professeur à l'École de Grignon, a eu occasion de vérifier cette manière de voir par des observations directes; une terre de Mondoubleau (Loir-et-Cher), appartenant à l'inspecteur général de l'agriculture Boitel, bénéficiait à un haut degré de l'emploi des phosphates, mais leur action y était très passagère; après une année, elle était tellement amoindrie qu'il fallait en distribuer une nouvelle quantité; Millot ayant remarqué que cette terre était exceptionnellement riche en oxyde de fer conseilla de faire succéder un fort marnage à l'emploi des phosphates; dans ces conditions on retrouva les rendements que l'on n'atteignait d'ordinaire que par l'épandage d'une nouvelle dose d'engrais phosphaté.

Aux phosphates ainsi amenés à l'état soluble, les calcaires ajoutent parfois ceux qu'ils renferment directement; cette quantité peut atteindre 2 ou 3 p. 100 dans quelques calcaires, bien qu'elle soit habituellement très au-dessous de ce nombre.

Si l'on se rappelle que les phosphates ont sur la végétation une action des plus marquées, tellement qu'il suffit de les ajouter à un sol qui en est privé, pour lui donner une fertilité moyenne, on comprendra l'importance qu'il y aura pour le cultivateur à rendre assimilables les phosphates enfouis dans le sol, et l'action qu'exerce sur eux la chaux ou la marne employées en excès, leur apparaîtra comme une des fonctions importantes de cet amendement.

§ 157. — De la tangue (1).

On désigne sous le nom de *tangue*, *tanque*, *tangu*, *cendre de mer*, *sablon*, *charrée blanche* (2), particulièrement dans les départements de la Manche, du Calvados, de l'Ille-et-Vilaine, etc., une espèce de sable, gris ou blanc jaunâtre, qui se dépose habituellement dans les baies et les anses, principalement à l'embouchure des rivières de la basse Normandie et de la basse Bretagne. Cette matière, extrêmement précieuse pour les cultivateurs du voisinage, est recueillie par le raclage simple, à la pelle et à la pioche, ou le dragage régulier des bancs. Les propriétés fertilisantes de la tangue sont connues depuis longtemps, on en fait usage depuis des siècles; d'anciens cartulaires, des pièces relatives à des concessions de droit de tanguage, permettent d'établir que, dès le douzième siècle, les populations du nord-ouest se servaient de la tangue pour améliorer leurs terres.

La composition des tangues varie entre des limites assez écartées, non seulement d'un gisement à l'autre, mais en outre dans le même gisement suivant l'époque à laquelle a lieu l'extraction. Cette composition est elle-même fort complexe : on trouve dans la tangue des matières organiques azotées et non azotées, des sulfates et des phosphates, du carbonate de chaux, des alcalis et des oxydes insolubles, et surtout de la silice. En raison de la grande variété de composition des diverses tangues, nous nous bornerons à indiquer, d'après M. Is. Pierre, celles des tangues qui diffèrent le plus entre elles par quelques-uns de leurs éléments (3).

(1) Nous faisons dans ce paragraphe de larges emprunts à un travail publié par M. Is. Pierre dans les *Annales de chimie et de physique*, t. XXXVII et à un mémoire de M. Philippar, directeur de l'École de Grignon, publié dans les *Annales agronomiques*, t. IV. p. 143.

(2) On désigne sous le nom de *charrée*, les cendres lessivées; ces cendres valent par le calcaire et par le phosphate de chaux qu'elles renferment, nous en dirons quelques mots au chapitre : *Phosphates*.

(3) Le lecteur désireux de connaître la composition des divers maerls ou treaz (sables coquilliers) recueillis sur les côtes de Bretagne consultera avec fruit les analyses exécutées par M. Besnou, pharmacien-major de la marine, qui sont insérées au deuxième volume de l'*Enquête sur les engrais industriels* publiée en 1866 par le ministère de l'agriculture.

COMPOSITION DE LA TANGUE desséchée à 100°.	LIEUX D'ORIGINE. Ause de Moidrey.	Saint-Malo.	Mare de Montmartin.	Brévand.
	gr.	gr.	gr.	gr.
Matières combustibles et volatiles.	2.96	6.90	7.27	2.83
Chlore	0.74	0.55	0.27	0.01
Acide sulfurique	0.34	0.66	0.07	traces
— phosphorique	1.38	0 57	0.72	0.10
Silice soluble	2.25	0.51	traces	»
Carbonate de chaux	39.25	25.23	45.45	23.94
Magnésie	0.19	0.87	0.19	0.38
Alumine et oxyde de fer	1.33	0.30	0.35	0.37
Matières insolubles	50.43	63.05	45.26	72.37
Soude et potasse solubles	1.01	1.06	0.32	traces
Perte	0.12	0.30	0.10	»
Tangue prise au moment de l'extraction	100.00	100.00	100.08	100.00
Eau interposée pour 100	0.85	2.38	2.33	»
Azote pour 1000	1.11	1.58	1.52	0.30

M. Philippar a étudié, lorsqu'il occupait le laboratoire du Lezardeau, la composition d'un grand nombre de gisements de sables coquillers du Finistère.

Nous reproduirons seulement ici la richesse en carbonate de chaux des sables signalés par M. Philippar comme étant exploités.

	Carb. de chaux p. 100.			
Arrondissement de Brest.				
Sable calcaire de Lochrist (25 kil. de Brest)	82.371	Vendu sur place	2 fr.	le mètre cube.
— de la pointe Saint-Mathieu (23 kil. de Brest)	86.823	—	2,50	—
— du Conquet (23 kil. de Brest)	83.050	—	2,00	—
Arrondissement de Morlaix.				
Sable calcaire de la baie de Kernic en Treflez	62.060	Très exploité.		
— de la baie de Plouescat.	64.730	Très estimé.		
— de l'Ile de Batz	31.500	Id.		
Arrondissement de Châteaulin.				
Maerl de la baie de Daoulas (amené par bateaux au quai de Châteaulin	78.410			
Sable calcaire de Morgat Crozon.	42.241	Phosphate de chaux, 0.820		

Arrondissement de Quimper.		
Sable calcaire de Plomœur près Pont-l'Abbé....	60.380	
— de la Palud de Kerbascol.....	36.000	Très employé.
Arrondissement de Quimperlé.		
Sable calcaire jaune de Port-Manec.....	70.725	
— des grands sables près Clohars..	69.870	Très exploité.

La tangue est formée de débris coquillers; elle est d'autant plus riche en azote que les débris sont plus fins, que suivant l'expression consacrée la tangue est plus grasse; mise en tas dans la cour de ferme, la tangue foisonne augmente de volume, on favorise ce foisonnement par des pelletages : la tangue qui après quelques mois de séjour sur la grève a ainsi foisonné après les pelletages est la plus estimée. La tangue s'emploie quelquefois seule, mais le plus habituellement avant de la répandre on la mélange à du fumier, des balayures, des curures de mares ou de fossés, etc. : la méthode la plus généralement adoptée consiste à en former des composts ou tombes plus ou moins longues. On commence par labourer l'emplacement de la tombe à 18 à 20 centimètres de profondeur sur 1 mètre à 1^{m},20 de largeur; après huit ou quinze jours, suivant la saison, on donne un deuxième labour, et l'on met une couche de fumier, puis une couche de tangue, une couche de balayures et curures de fossés, etc., puis de nouvelles couches de fumier, tangue, etc., dans le même ordre, jusqu'à une hauteur d'environ 1 mètre. Après quinze jours ou un mois, on recoupe le tout en y incorporant la moitié environ de la couche inférieure de terre, ameublie par le labour; une semaine après, le compost ainsi préparé peut être répandu sur les champs.

Quelquefois, surtout à proximité des tanguières, on fabrique ces composts avec des couches alternatives de sablon et de fumier; quelques jours avant de conduire aux champs, on recoupe le tout et on le relève en tas.

La bonne tangue passe pour *brûler* le fumier, lorsqu'on l'emploie seule avec lui dans la confection des composts. La principale cause de ce fait doit être attribuée à la propriété que possède le calcaire, dans un grand état de division, d'activer la décomposition des matières organiques azotées. En définitive, la proportion de tangue qui

entre dans les tombes est comprise entre 1/4 et 1/2 du volume total.

Enfin, la tangue s'emploie quelquefois aussi directement, sans mélange préalable, soit sur des prairies naturelles ou artificielles, après la récolte du fourrage, soit sur les chaumes de froment ou de sarrasin. Lorsque la tangue est ainsi employée seule, on n'en répand ordinairement que la moitié de la quantité que l'on fait entrer dans les composts.

Les terres qui reçoivent depuis longtemps, avec régularité, de fortes proportions de tangues finissent par offrir l'aspect des tanguières : ceci n'a rien d'étonnant, si l'on réfléchit qu'après une longue suite d'années, le terrain primitif n'entre plus que pour une minime proportion dans le sol ainsi modifié par des additions successives : la dose habituelle de tangue, en effet, est comprise entre 6 et 16 mètres cubes par hectare pour les meilleures qualités, entre 10 et 20 pour les qualités moyennes ; dans les environs de Cherbourg, on en emploie de 25 à 100 mètres cubes par hectare. L'expérience démontre que les terres les plus souvent et les plus anciennement tanguées éprouvent, aussi bien que les autres, les bons effets d'une nouvelle couche de cet amendement. Les principes les plus efficaces de la tangue disparaissent donc assez rapidement. — Quand on demandait naguères aux cultivateurs à quoi ils attribuent les bons effets de la tangue, ils répondaient que c'est « au sel qu'elle contient. » Cette opinion n'est certainement pas fondée, car les tangues les plus estimées ne fourniraient guère qu'une dose de sel de 7 kilogrammes par hectare et le mettraient ainsi à 200 francs les 100 kilogrammes. Du reste, les tangues les plus riches en sel sont précisément les moins estimées ; enfin, les opérations que l'on fait subir au sablon, égouttage prolongé, exposition à l'air et aux pluies, etc., ont pour résultat d'éliminer la plus grande partie du sel qu'il pouvait contenir.

Quant à l'effet des matières azotées et des phosphates, sans en nier l'importance, il faut se garder de l'exagérer : trente tonnes de la meilleure tangue, à ce point de vue, ne vaudraient pas une tonne de fumier de ferme, et certaines tangues très estimées ne pourraient fournir aux récoltes la moitié de l'acide phosphorique qu'elles renferment. Il est au contraire un fait dominant, c'est que les tangues qui passent pour les meilleures sont aussi les plus riches en calcaire : c'est là, sinon le seul élément, du moins le plus important à considérer. D'ailleurs les terres sur lesquelles on obtient les

effets les plus marqués sont aussi celles sur lesquelles le chaulage réussit le mieux. La tangue est donc un véritable amendement, tout à fait comparable aux faluns. Toutefois on doit lui reconnaître une action fertilisante spéciale en raison des matières organiques et des sels favorables à la végétation qu'elle renferme.

On ne sera donc pas étonné qu'en mettant en comparaison de la chaux et de la tangue, cette dernière présente un avantage marqué, c'est ce qui résulte de cultures exécutées par M. Philippar sur des panais ronds : la tangue a donné à l'hectare, un excédent de 4,570 kilos, de 3,200 kilos, pour les pommes de terre, de 870 kilos pour le grain de seigle et de 2,950 kilos pour la paille.

Si on remarque en outre que le prix de la chaux dans la tangue est d'environ quatre fois inférieur à celui de la chaux vive, on conçoit combien les cultivateurs bretons mettent d'empressement à récolter les sables calcaires.

M. Philippar constate que la culture du trèfle incarnat et surtout celle du trèfle rouge ne sont possibles sur les terres granitiques de Bretagne qu'à la condition d'importer l'élément calcaire qui y fait complètement défaut ; les sables coquillers augmentent le rendement des légumineuses, des rutabagas, des pommes de terre ; sur les prairies naturelles, le sable produit d'excellents effets : destruction des mousses et des plantes acides, développement des légumineuses, etc. ; enfin le sable calcaire donne des céréales à rendements plus élevés, à grains mieux nourris, à farine plus appréciée.

Influence de la chaux sur la modification de la flore. — Le cultivateur qui défriche une terre abandonnée à la végétation spontanée entre en lutte contre les plantes adventives qui disputent aux espèces semées, l'espace, l'eau et les aliments, et il a souvent grand intérêt à modifier violemment la flore locale par l'addition des amendements calcaires.

La flore des pays dépourvus de chaux diffère de celle qui couvre les pays où elle abonde (1) ; or, un chaulage énergique crée à la flore locale des conditions fâcheuses, si, ainsi qu'il arrive souvent, elle est surtout composée de plantes calcifuges ; ce chaulage ou ce marnage donne en revanche aux plantes nouvellement introduites des avantages qui leur permettent de sortir victorieuses du combat pour la vie dans lequel elles s'engagent contre les espèces indigènes.

(1) Voyez Contejean, *Ann. des sc. nat. bot*, 5e série, t. XX, p. 226 ; 6e série, t. II, p. 222.

Il est certains végétaux de grande culture, les légumineuses notamment, qui bénéficient à un si haut degré de la présence du calcaire qu'il suffit de chauler des prairies où la chaux faisait défaut pour que le trèfle y apparaisse spontanément, les graines apportées par le vent y prospèrent aussitôt que le terrain leur est devenu favorable.

Le Limousin est resté un pays misérable pendant des siècles; il ne s'est transformé et n'est arrivé à l'état relativement prospère où nous le voyons aujourd'hui, qu'au moment où la construction des chemins de fer a permis d'y introduire à bas prix la chaux du département du Cher; la culture du trèfle inconnue jusque-là dans ce pays granitique est devenue possible, les animaux plus nombreux, mieux nourris, ont donné assez de fumier pour qu'on pût transformer les pacages en prairies fauchables; l'alimentation de l'excellente race des bœufs limousins étant assurée, son élevage a fait rapidement des progrès sensibles et la vente des jeunes animaux est devenue pour les propriétaires et les métayers une source de larges bénéfices.

Dans les prairies humides, l'emploi des amendements calcaires exerce une influence remarquable, j'ai plus que doublé le rendement des prairies de l'Avre appartenant à la Ville de Paris en les amendant avec de la chaux ou du plâtre additionné d'une faible dose de nitrate de soude.

§ 158. — Résidus calcaires des diverses industries.

Écumes de défécation. — Les sucreries emploient pour la défécation des jus de betteraves des quantités notables de chaux; introduite à l'état de lait de chaux, elle est carbonatée dans les cuves même où a lieu la défécation; le carbonate de chaux qui se précipite, entraîne des quantités notables de matières organiques dont quelques-unes sont azotées, et bien qu'elles soient partiellement décomposées pendant l'ébullition maintenue pendant la carbonatation, les écumes renferment de 4 à 5 millièmes d'azote de 1,50 à 3,0 de phosphate de chaux; la proportion du carbonate de chaux est voisine de 40 centièmes. On conçoit donc que les cultivateurs des terres fortes voisines des sucreries emploient avec grand avantage les écumes de défécation; sur les domaines de Bourdon, dans la Limagne d'Auvergne, les quantités employées sont considérables, nous avons dit déjà qu'elles atteignent souvent

50,000 kilogrammes à l'hectare, et l'effet sur ces terres fortes est très avantageux.

Chaux d'épuration du gaz. — Les chaux d'épuration du gaz sont parfois dangereuses à cause du sulfocyanure de potassium qu'elles renferment; on ne peut les utiliser qu'après une exposition à l'air assez prolongée pour que les cyanures aient disparu soit en se dissolvant, soit en se décomposant, qu'après également que les sulfites et les hyposulfites qu'elles renferment lorsqu'elles sortent des cylindres d'épuration, aient pu se métamorphoser en sulfates.

Si ces chaux présentent encore une forte odeur de goudron, il sera bon avant de les employer d'en dissoudre quelques grammes dans de l'acide chlorhydrique étendu, si les gaz dégagés présentent l'odeur de l'acide sulfureux ou de l'hydrogène sulfuré, il faudra laisser ces chaux exposées à l'air pendant quelques temps avant d'en faire usage.

Résidus de papeterie, etc. — Les papeteries emploient la chaux à la fabrication du papier de paille, les résidus très humides ne renferment guère que de 30 à 40 centièmes de carbonate de chaux.

§ 159. — Quantités de chaux et de marne a employer.

Chaux. — Ces quantités varient dans d'énormes proportions avec la nature des terres sur lesquelles la chaux doit être placée.

Sur les terres légères, granites, grès, etc., les quantités peuvent être réduites à 30 hectolitres de 135 kilogrammes tous les trois ans; si cependant on répand cette chaux sur des terres très chargées de matière organique, on peut doubler la dose; on est averti, au reste, que les quantités sont suffisantes par les changements que subit la flore; si on voit apparaître le petit trèfle blanc des prairies, c'est que la dose est convenable, si au contraire, la flore primitive persiste, c'est que la quantité de chaux est insuffisante.

Pour les terres argilo-siliceuses, on peut aller plus loin, donner tous les quatre ou cinq ans une cinquantaine d'hectolitres de chaux; dans ces terres trop fortes, les amendements calcaires sont toujours avantageux, on n'est limité que par des raisons économiques.

C'est ainsi qu'en Angleterre les proportions employées ont été souvent infiniment supérieures à celles que nous venons d'indiquer, puisqu'elles oscillent autour de 150 hectolitres pour les terres légères et s'élevent jusqu'à 400 hectolitres pour les terres tourbeuses.

Je ne serais pas étonné que ces doses indiquées par divers au-

teurs (Sainclair, Boussingault) ne fussent très exagérées; j'ai employé une fois 100 hectolitres à l'hectare, sans en obtenir plus d'effet qu'en répandant des doses moindres.

Quand on veut modifier des terres tourbeuses, il faut les assainir par des fossés, toutes les fois que cela est possible, puis chauler à haute dose, 30, 40 hectolitres de chaux produisent un bon effet, avant de se lancer dans l'acquisition de plus fortes quantités, il faut voir si la plus-value des récoltes autorise les dépenses qu'occasionne le chaulage à haute dose : l'hectolitre de chaux en place revient au moins à 3 francs, il faut donc calculer si l'amélioration obtenue couvre la dépense.

Marne. — Le marnage est généralement pratiqué à l'aide de marne provenant du sol même à amender; quand on est éloigné des marnières, que le transport occasionne des dépenses sérieuses, il est habituellement plus avantageux d'acquérir de la chaux qui étant employée sous un poids moindre, peut être amenée sur les champs à meilleur marché.

La plupart des cultivateurs marnent à haute dose et pour un grand nombre d'années, on distribue de 20 à 40 mètres cubes pour quinze ou vingt ans; ces proportions varient naturellement avec la composition de la marne, la facilité avec laquelle elle se délite, et enfin avec la composition du sol lui-même. Les cultivateurs avisés ne doivent pas s'engager dans les marnages coûteux avant de constater quels bénéfices on en peut tirer; le mieux est toujours d'essayer sur des surfaces de médiocre étendue, sur lesquelles on marne à des doses différentes. On calcule quel bénéfice on tire de chacune de ces opérations et on se décide ainsi en connaissance de cause.

Ce qu'on doit toujours prendre comme règle, c'est l'aspect de la végétation; si on voit qu'après un marnage à forte dose, les plantes deviennent vigoureuses, si le trèfle notamment est puissant, on a la preuve que la quantité de marne employée est suffisante; s'il est languissant, si on le voit disparaître par place, c'est que la dose employée est trop faible. D'une façon générale, il est plus avantageux de répandre fréquemment des doses moyennes de marne, plutôt que d'employer en une seule fois des doses considérables qui doivent exercer leur action pendant un long espace de temps.

§ 160. — Inconvénients des amendements calcaires.

Un proverbe dit : *la marne enrichit le père et ruine les enfants.*

Cette parole, comme presque tous les proverbes agricoles, résume de nombreuses observations, et paraît présenter un fond de vérité. Les cultivateurs de la Mayenne ont employé depuis soixante ans de grandes quantités de chaux et se plaignaient déjà, il y a trente ans, de l'épuisement de leur sol. — Le trèfle ne vient plus est une phrase répétée à plusieurs reprises dans la déposition que fait, à la commission des Engrais Industriels, M. Moreul, directeur de ferme-école dans la Mayenne (1).

Il ajoutait : « Quand on a employé la chaux sur des terrains acides, humides, chargés de débris végétaux, on en a obtenu des résultats admirables, et on a dit que la chaux est le meilleur des engrais. On s'est livré avec ardeur à la culture du trèfle et notamment de la graine : » le trèfle couvrait le sol pendant dix-huit mois sur trois ans, on vendait la graine, la moitié des fortunes du pays venait de la graine de trèfle, mais maintenant cette culture est perdue.

Il n'est pas impossible de saisir la raison de cet épuisement du sol par des chaulages répétés ; les terres acides ne nitrifient pas, l'azote s'y accumule, aussitôt que la chaux arrive, la nitrification peut s'établir, et par suite la terre devient très productive, mais du même coup s'épuise non seulement des nitrates utilisés par les plantes, mais aussi de ceux qui s'infiltrent dans les eaux souterraines.

L'épuisement en azote d'une terre chaulée est donc facile à concevoir. Nous avons vu de plus, par l'exemple du champ d'expériences de Grignon, que la matière carbonée disparaît encore plus vite que la matière azotée, et on conçoit que l'humus se brûle rapidement dans la terre chaulée et que bientôt la terre n'en contienne plus une proportion suffisante pour nourrir une abondante récolte de trèfle.

Il est manifeste que ces effets fâcheux ne se produiraient pas, si les chaulages étaient accompagnés de fumures suffisantes ; dans la Mayenne les chaulages étaient copieux, les fumures rares, il n'est pas extraordinaire qu'on soit arrivé à l'épuisement.

Toutes les fois au contraire que les chaulages ont été accompagnés de bonnes fumures, qu'ils n'ont pas été exagérés, ils ont produit d'excellents effets ; les cultivateurs avisés trouvent à l'emploi de la chaux de grands avantages et ils ne doivent pas

(1) Imprimerie impériale, 1865.

négliger son emploi dans la crainte d'appauvrir leur sol ; l'usage est très utile, l'abus seul est dangereux.

§ 161. — Résumé des effets attribués aux amendements calcaires.

Les amendements calcaires sont employés sous forme de marne, de chaux, de tangue, ou de résidus industriels.

Ils ont pour effet : de fournir aux végétaux qui croissent sur le terrain, la chaux qui leur est nécessaire, surtout dans le jeune âge ; toutefois les proportions employées étant hors de proportion avec les besoins des végétaux, on a dû chercher comment la chaux agit sur les divers éléments du sol et on a supposé :

Qu'en coagulant l'argile, elle rend probablement plus filtrantes les terres fortes, permet l'écoulement plus rapide de l'eau et les rend plus tôt abordables pour les labours.

Les amendements calcaires et notamment la chaux attaquent les matières azotées de la terre arable et y provoquent la formation d'une petite quantité d'ammoniaque Au début de son application, la chaux retarde la nitrification en créant dans le sol un milieu trop alcalin pour que le ferment nitrique puisse y vivre, bientôt cependant la chaux se carbonate, elle est alors comme la marne ou la tangue absolument favorable à la nitrification ; la présence d'une base salifiable étant nécessaire pour saturer l'acide nitrique à mesure qu'il se produit (page 409).

Les sels de chaux déterminent la précipitation incomplète des matières noires du fumier, les préservent ainsi de la déperdition dans les terres légères ; la dissolution organique calcaire qui persiste après cette précipitation paraît être très favorable au développement d'un grand nombre d'espèces, surtout dans le jeune âge.

Les amendements calcaires agissent sur les phosphates de sesquioxyde qui se forment spontanément dans la terre arable. Ils les décomposent et ramènent l'acide phosphorique à un état plus favorable à l'assimilation.

Enfin en introduisant dans le sol de la chaux, on le rend apte à porter certaines espèces, pour lesquelles la chaux est un aliment nécessaire, on donne à ces espèces un avantage dans la *lutte pour la vie*, qu'elles engagent avec celles qui couvraient le sol ; ces espèces se trouvent au contraire dans des conditions moins avantageuses et finissent par disparaître ; la transformation de la flore est un des effets les plus marqués du chaulage.

Tels sont actuellement les points qui paraissent acquis dans l'histoire des amendements calcaires; il est vraisemblable qu'ils exercent en outre d'autres actions qui nous échappent encore.

CHAPITRE II

DU PLATRAGE DES TERRES ARABLES.

Le sulfate de chaux se rencontre à deux états différents : cristallisé, blanc, ne renfermant pas d'eau de combinaison, il porte le nom d'*anhydrite ;* encore cristallisé, mais présentant parfois un curieux exemple d'hémitropie, et combiné avec 2 parties d'eau, le sulfate de chaux, dont la composition est représentée par la formule $CaSO^4$, $2H^2O$, prend le nom de *gypse* ou *pierre à plâtre;* sous cette forme, il est particulièrement abondant dans le bassin parisien; les carrières de plâtre se rencontrent à Montmartre, à Argenteuil, à Triel, à Mantes, etc. Le sulfate de chaux hydraté perd facilement ses 2 équivalents d'eau de cristallisation sous l'influence d'une douce chaleur; mélangé à l'eau, il est alors éminemment plastique : il est employé au moulage, au revêtement des murs en moellons. Mais cet état fluide n'est que passager, le plâtre cristallise, ses cristaux se feutrent, durcissent : on dit qu'il fait prise avec l'eau. Son emploi dans les constructions, dont nous n'avons pas à nous occuper, est déjà ancien; l'agriculture, au contraire, ne l'utilise guère que depuis un siècle.

§ 162. — Historique de l'emploi du platre en agriculture.

On attribue généralement au pasteur Mayer, ministre protestant dans la principauté de Hohenlohe, les premières observations suivies sur les effets du plâtre en agriculture. Ses écrits popularisèrent son emploi vers le milieu du dix-huitième siècle. Des essais nombreux furent repétés : Tshiffeli en Suisse, et Schubart en Allemagne, multiplièrent les expériences, et l'emploi du plâtre se généralisera rapidement.

L'expérience que fit Franklin en Amérique, aux environs de Washington, est célèbre. Il possédait auprès d'une route très fréquentée un champ situé en contre-bas de la chaussée ; quand il porta de la luzerne, il y répandit du plâtre de façon à former les mots : « *Ceci a été plâtré.* » Bientôt les pieds ainsi amendés, plus vigoureux, élevèrent leurs feuilles au-dessus des plantes voisines, et

le relief formé par la luzerne elle-même forma les mots : « *Ceci a été plâtré.* » Ainsi qu'on l'a souvent observé dans l'histoire des engrais, on passa d'un extrême à l'autre, et, après s'être longtemps refusés à employer le plâtre, les cultivateurs s'engouèrent de cette matière ; on s'imagina que le plâtre était un engrais universel et qu'il allait remplacer tous les autres. Il n'en était rien cependant ; les mécomptes arrivèrent, et l'on reconnut bientôt qu'il n'agissait qu'avec l'aide d'engrais organiques, et que, s'il était très-efficace sur certaines plantes, il n'exerçait au contraire aucune action favorable sur beaucoup d'autres.

Enquête de Bosc. — Comme ces résultats contradictoires avaient jeté quelque trouble dans les esprits, et qu'après avoir exagéré les effets utiles du plâtre, il était à craindre qu'on ne le négligeât outre mesure, la Société d'agriculture de France jugea utile d'ouvrir une enquête, et de s'adresser aux agriculteurs eux-mêmes de façon à connaître leur opinion sur les conditions dans lesquelles le plâtre devait être employé. Le résultat de cette enquête fut présenté à la Société par Bosc, un de ses membres, dans la séance du 20 avril 1822. Boussingault a résumé, à son tour, le rapport assez confus de Bosc, et nous lui empruntons la page dans laquelle il en rend compte.

« Pour simplifier le questionnaire adressé aux cultivateurs, on peut supposer qu'il ne comporte que les quatre demandes suivantes auxquelles sont jointes les réponses obtenues :

1° Le plâtre agit-il favorablement sur les prairies artificielles ?

Sur quarante-trois opinions émises, il y en a quarante affirmatives, trois négatives ;

2° Le plâtre agit-il favorablement sur les prairies artificielles dont le sol est extrêmement humide ?

Non, à l'unanimité. Il y a eu six opinions émises.

3° Le plâtre peut-il suppléer à l'engrais organique, à l'humus du sol ? En d'autres termes, un sol stérile peut-il porter une prairie artificielle par le seul fait du plâtrage ?

Non, à l'unanimité. Il y a eu sept opinions émises.

4° Le plâtre augmente-t-il d'une manière perceptible la récolte des céréales ?

Sur trente-deux opinions émises, il y en a eu trente négatives et deux affirmatives. »

Expériences de M. Smith, de M. de Villèle, de l'Ecole de Grignon. — Ces résultats sont importants, et les nombreuses observations qui ont été faites depuis cette époque sont venues confirmer

complètement les réponses des correspondants de la Société d'agriculture. Nous avons au reste, sur l'emploi du plâtre, des documents déjà anciens, mais plus précis que ceux qui sont insérés dans le rapport de Bosc. Il existe, en effet, quelques expériences chiffrées exécutées en Angleterre et en France; elles sont tellement frappantes, que nous croyons devoir les reproduire.

Cultures comparées du sainfoin sur un sol plâtré et non plâtré, faites en 1792, 1793 et 1794, par M. Smith.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	REMARQUES.	FANES SÈCHES PAR HECTARE.	GRAINES PAR HECTARE.	POIDS de la RÉCOLTE TOTALE.	RAPPORT des FANES au gain.
		kil.	kil.	kil.	
N° 1.	Récolte sur une terre végétale non plâtrée, un mètre de profondeur, sous-sol de craie	3662	457	4119	100 : 12,5
	Récolte sur le sol contigu, ayant reçu 5 h. 38 de plâtre en avril 1794	5939	635	6594	100 : 10,7
	Différence en faveur de la récolte plâtrée	2997	178	2475	
N° 2.	Récolte sur la même terre végétale non plâtrée, moins profonde	3018	268	3286	100 : 8,9
	Récolte sur le sol contigu, ayant reçu 5 h. 38 de plâtre en avril 1792	4780	414	5194	100 : 8,7
	Différence en faveur de la récolte plâtrée	1762	146	1908	
N° 3.	Récolte sur la même terre végétale non plâtrée, 8 centim. de profondeur	2256	72	2328	100 : 3,2
	Récolte sur le sol contigu, ayant reçu 5 h. 38 de plâtre le 17 mai 1794	5323	230	5553	100 : 4,3
	Différence en faveur de la récolte plâtrée	3067	158	3225	
N° 4.	Récolte sur le sol contigu à l'expérience n° 3, plâtré à la même dose en mai 1792	4072	224	4926	100 : 4,8
	Différence en faveur de la récolte plâtrée depuis deux ans	2448	152	2598	

On reconnaîtra, à l'inspection de ce tableau, que le plâtre a souvent augmenté d'un tiers les rendements, parfois il a doublé la récolte ; son effet a été aussi sensible sur le rendement en graines que sur celui des fanes.

Dans les expériences n° 3 et n° 4 notamment, le poids de grains obtenus sans plâtre étant de 72 kilos, s'élève à 230 et à 224 kilos, c'est à dire a plus que triplé, et dans l'expérience n° 4, l'influence du plâtre est d'autant plus remarquable, qu'elle se fait sentir deux ans après son épandage.

On doit encore à M. Smith deux expériences sur le trèfle blanc :

Culture comparé du trèfle blanc sur un sol plâtré et non plâtré.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	REMARQUES.	FANES PAR HECTARE.	GRAIN PAR HECTARE.	POIDS de la RÉCOLTE TOTALE.	RAPPORT de la FANE à la graine.
		kil.	kil.	kil.	
N° 1.	A. Plâtré	2429	347	2776	100:14,3
	A. Non plâtré	915	61	976	100: 6,7
	Différence	1514	286	1800	
N° 2.	B. Plâtré	2476	190	2686	100 : 7,6
	B. Non plâtré	1525	67	1522	100 : 7,0
	Différence	951	123	1074	

La moyenne de ces deux expériences montre que la récolte du trèfle non plâtré étant 100, celle du trèfle qui a reçu le sulfate de chaux est 225 : elle est plus que double.

Les expériences de M. de Villèle, postérieures aux précédentes, furent exécutées près de Caraman, dans la Haute-Garonne ; on a fauché le sainfoin et le trèfle avant qu'ils fussent montés en graine.

Culture comparée du sainfoin et du trèfle plâtré et non plâtré.

NATURE DE LA TERRE.	PLANTES.	PLATRE par hectare.	RÉCOLTE sèche sur les parcelles plâtrées par hectare.	RÉCOLTE sèche sur les parcelles non plâtrées par hectare.	EXCÈS de la récolte plâtrée sur la récolte non plâtrée.	VALEUR en argent de l'excès de fourrage	PRIX du plâtre.	GAIN.
		kil.	kil.	kil.	kil.	fr.	fr.	fr.
Légère, sèche, exposée au midi, 2 à 3 déc. de profondeur sur craie.....	Sainfoin.	800	3500	2200	1300	52	20	32
		300	4000	2000	2000	80	7 50	72 50
		600	3300	2100	1200	48	15	33
Forte, argileuse, humide, 5 déc. de profondeur sur glaise.....	Trèfle...	500	5000	2500	2500	100	12 50	87 50
		700	4000	2400	1600	64	17 50	46 50

Dans cette expérience, le plâtre a donc produit partout un effet utile, mais c'est toujours quand il a été employé à faibles doses qu'il a laissé le plus fort bénéfice.

Les résultats ne sont pas partout anssi avantageux. Dans un essai qui fut fait à l'École de Grignon, où l'on n'emploie jamais le plâtre, parce que l'expérience a enseigné depuis longtemps qu'il n'y réussit que médiocrement, on a plâtré pendant la campagne 1865-1866 une luzerne établie sur la partie du plateau qui était désignée à cette époque sous le nom de 7e division. Deux carrés ne reçurent pas de plâtre, et donnèrent, l'un 7300 kilos de foin et de regain fanés, l'autre 8350 : c'était auprès de ce dernier que se trouvait le carré plâtré ; la récolte y fut de 8670 kilos. On avait répandu 500 kilos de plâtre, valant 30 francs ; de telle sorte que le gain, dépense d'engrais déduite, fut de 683 francs (on comptait le foin à 80 francs les 1000 kil.). Le carré non plâtré voisin rendit par hectare une récolte valant 668 francs ; on voit donc que le bénéfice dû au plâtre serait de 15 fr. 60. Il est vrai que l'autre carré pris pour témoin ne donna que 584 francs de foin ; mais il faut remarquer que cette portion de la luzernière était moins vigoureuse que la précédente.

Quoi qu'il en soit, on ne saurait attribuer à l'effet du plâtre la

différence de récolte, puisque, entre les deux parcelles qui n'en avaient pas reçu, la différence était de 750 kilos, bien plus grande qu'entre les parcelles voisines, dont l'une avait été plâtrée, tandis que l'autre au contraire ne l'avait point été. Il est à remarquer, en outre, que la luzerne sur laquelle on a opéré était vieille déjà de plusieurs années, et que les engrais de potasse n'y produisirent guère d'effet. C'est un fait reconnu depuis longtemps, que les engrais minéraux efficaces sur les légumineuses dans les premières années de leur culture, sont loin d'exercer autant d'effet quand elles sont plus âgées. S'il est des terres sur lesquelles le plâtre est très efficace, il en est donc d'autres au contraire où son effet n'est pas sensible. Nous essaierons d'en préciser la raison dans les paragraphes suivants.

Proportions du plâtre à employer. — En général, on s'accorde à reconnaître que, quelle que soit sa forme, le plâtre peut être employé aux usages agricoles ; on fera aussi bien usage du plâtre cru bien pulvérisé, que du plâtre cuit, de l'anhydrite que des plâtras de démolitions : la dose la plus convenable paraît être de 400 à 500 kilos par hectare.

Quelques praticiens emploient le plâtre à l'automne, mais la plupart reconnaissent qu'il est préférable de le donner au printemps sur les jeunes feuilles et par un temps un peu humide. Nous verrons que cet usage s'accorde très bien avec la théorie du plâtrage que nous proposons.

§ 163. — Explications des effets utiles du platre.

Le plâtre réussit sur les légumineuses et n'exerce aucune action sur les céréales; c'est là le point le plus curieux de son histoire agricole qu'il convient surtout d'expliquer.

Avant d'indiquer ici comment nous comprenons ce résultat singulier que ne présente aucun autre amendement, il est utile de rappeler les diverses théories qui ont été émises pour rendre compte des effets du plâtre.

H. Davy admettait que les plantes qui bénéficient de son emploi absorbent ce sel en nature; il serait indispensable à la formation de leurs tissus, comme le sont les phosphates à la formation des matières albuminoïdes. Mais cette hypothèse ne peut se soutenir devant les analyses exécutées par Boussingault. Cet illustre agronome a reconnu que dans les cendres d'un trèfle plâtré, l'acide sulfurique et la chaux sont loin d'être dans les rapports où on les trouve combinés dans le gypse; tandis que la chaux forme une partie importante de ces cendres, l'acide sulfurique n'y entre que pour une faible proportion. On le reconnaîtra à la lecture du tableau suivant qui renferme les analyses de quatre trèfles, deux ayant reçu du plâtre, deux en ayant été privés. Les deux premiers provenaient d'une très bonne récolte, les deux seconds d'une récolte peu favorable.

Composition des cendres de trèfle plâtré et non plâtré.

MATIÈRES DOSÉES (1)	RÉCOLTE EXTRAORDINAIRE DE 1841.		RÉCOLTE PEU FAVORABLE DE 1842.	
	Cendres de trèfle		Cendres de trèfle	
	non plâtré.	plâtré.	non plâtré.	plâtré.
Chlore	4.1	3.8	3.3	3.0
Acide phosphorique	9.7	9.0	7.1	8.2
— sulfurique	3.9	3.4	3.1	3.2
Chaux	28.5	29.4	33.2	36.7
Magnésie	7.6	6.7	7.3	10.2
Oxyde de fer de manganèse.	1.2	1.0	0.6	traces
Potasse	23.6	35.4	29.4	34.7
Soude	1.2	0.9	2.9	0.3
Silice	20.2	10.4	13.1	3.7
	100.0	100.0	100.0	100.0

(1) On a calculé en faisant abstraction de l'acide carbonique et de la perte.

Si le plâtre était absorbé en nature, s'il servait directement d'aliment à la plante, on devrait le retrouver dans les cendres, dans le rapport de 28 de chaux à 40 d'acide sulfurique; or on trouve que, dans les cendres du trèfle plâtré de 1841, pour 29,4 de chaux, il y a 3,9 d'acide sulfurique, c'est-à-dire 1/10e de la quantité qu'exige la chaux pour être saturée. On remarquera de plus, ce qui est fort curieux, qu'il n'y a pas plus d'acide sulfurique dans les cendres du trèfle plâtré, que dans celles des plantes qui n'ont pas reçu de sulfate de chaux; il est donc bien clair que l'explication si simple de Davy ne peut être adoptée.

Le baron de Liebig avait supposé que le plâtre fixe le carbonate d'ammoniaque des eaux pluviales en le métamorphosant en sulfate d'ammoniaque. On sait, en effet, que si l'on mélange le carbonate d'ammoniaque avec du sulfate de chaux, on obtient un précipité de carbonate de chaux, et il reste en dissolution du sulfate d'ammoniaque; c'est ce qu'exprime l'équation suivante :

$$Ca^2SO^4 + Az^2H^8CO^2 = CO^3Ca^2 + Az^2H^8SO^4.$$

Le sulfate d'ammoniaque n'étant pas volatil comme le carbonate, il ne sera plus entraîné au moment de la dessiccation du sol pendant les chaleurs de l'été; les plantes pourront donc bénéficier de cette ammoniaque qui, sans l'intervention du plâtre, se fût dissipée dans l'air et leur eût échappé.

Cette théorie a été évidemment émise à un moment où Liebig croyait encore à l'efficacité des engrais azotés; mais elle a le défaut de s'appliquer très-mal, car il est peu de plantes qui profitent aussi peu des engrais azotés que les légumineuses. Il est à remarquer, en outre, qu'ils sont très efficaces sur les céréales; or, il se trouve que les céréales ne profitent pas de l'emploi du plâtre,

tandis qu'il agit au contraire sur les légumineuses. Cette théorie est donc absolument erronée; elle a été proposée, au reste, à une époque où l'analyse des eaux pluviales n'était pas faite : on ignorait combien elles sont pauvres en ammoniaque, et par suite quelle faible action fertilisante elles peuvent exercer.

Influence du plâtre sur la formation de l'ammoniaque et sur la nitrification. — Au moment où j'ai commencé mes études sur le plâtrage des terres arables, j'avais cherché si le plâtre provoquait la formation de l'ammoniaque ou favorisait la nitrification. Mes expériences furent négatives; quelques essais dus à M. Pichard (1) ont semblé conduire à des conclusions contraires, mais je crois que cette contradiction est due aux conditions très particulières dans lesquelles a opéré M, Pichard.

Au reste, ces essais n'ont pas une grande portée, nous avons vu que tous les cultivateurs sont d'accord sur ce point que le plâtre, utile aux légumineuses, n'exerce aucune action sur les céréales; or, on sait ainsi qu'il vient d'être dit, que celles-ci bénéficient au plus haut degré des engrais azotés et notamment des nitrates; il est donc visible que si le plâtre favorisait la nitrification on le répandrait de préférence sur les cultures des céréales; c'est ce qu'on ne fait jamais, tandis qu'au contraire on l'emploie sur les légumineuses assez indifférentes habituellement aux engrais azotés. L'influence heureuse du plâtrage tient donc à une autre cause.

Le plâtre favorise la diffusion de la potasse dans la terre arable. — Pour étudier l'influence qu'exerce le plâtre sur la diffusion de la potasse, on a employé 100 grammes de terre séchée à l'air qui fut lavée avec un demi-litre d'eau; l'eau était évaporée d'abord dans une capsule de porcelaine, puis traitée par du carbonate d'ammoniaque pour éliminer la chaux; la liqueur filtrée était alors évaporée à sec dans une capsule de platine et calcinée pour chasser l'excès des sels ammoniacaux; on reprenait le résidu par l'acide chlorhydrique bouillant; on ajoutait de l'alcool et du chlorure de platine.

On filtrait après vingt-quatre heures le chloroplatinate de potasse; on desséchait le filtre, et l'on pesait enfin le chloroplatinate obtenu.

Les recherches furent commencées par un essai préalable ayant pour but de s'assurer que le procédé décrit plus haut ne présentait pas de causes d'erreurs graves.

On mélangea à 10 grammes de plâtre une quantité de salpêtre pur et sec renfermant $0^{gr},116$ de potasse; en suivant le procédé indiqué, on trouva $0^{gr},107$: ainsi on avait fait une erreur de $0^{gr},009$, qui, bien que notable, n'était pas de nature à compromettre le succès des recherches. Un grand nombre de terres furent plâtrées au dixième, quantité énorme, impossible à employer dans la pratique, mais qui avait pour but d'exagérer l'effet du plâtre, et l'on dosa comparativement la potasse dans les terres normales et dans les terres plâtrées. On trouva les résultats suivants :

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 392 et t. XV, p. 505.

Potasse extraite par l'eau froide d'un kilogramme de terre séchée à l'air.

TERRES MISES EN EXPÉRIENCES.	POTASSE extraite de la terre normale.	POTASSE extraite de la terre plâtrée.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	DURÉE de l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	
	0.048	0.136	+0.089	4 mois.
	0.058	0.140	+0.092	15 jours.
Terre noire de Russie n° 2..	»	0.288	+0.240	1 mois 1/2.
	»	0.428	+0.380	1 mois.
— noire de Russie n° 1..	0.128	0.138	+0.010	1 —
— des Chapelles (Seine-et-Marne).....	0.017	0.115	+0.098	1 —
— de Verclives (Eure) ...	0.487	0.556	+0.069	1 —
— du rio Parana.....	0.003	0.067	+0.064	1 —
— de Sologne.....	0.192	0.202	+0.010	1 —
— franche du Jardin des plantes.....	0.046	0.355	+0.309	24 heures.

Ces premières expériences avaient été tentées sur des terres prises au hasard parmi celles que je pouvais me procurer; mais je pensai ensuite à les vérifier sur d'autres terres choisies spécialement dans le but de voir si, comme les faits précédents semblaient le montrer, le plâtrage favoriserait la solubilité de la potasse. Il devenait évident, en effet, que, dans une terre que le cultivateur ne plâtre jamais, on devait trouver de la potasse soluble dans l'eau en quantités assez notables, tandis que, dans celles que le cultivateur plâtre avec avantage, il ne devait y avoir de potasse soluble dans l'eau qu'après le plâtrage. La première de ces deux vérifications me fut suggérée par mon ancien élève, M. Camille Arnoul, qui travaillait avec moi au Conservatoire des arts et métiers en 1863, pendant que je m'occupais de ce travail pour lequel il me prêta le concours le plus actif et le plus dévoué.

Potasse extraite par l'eau froide d'un kilogramme de terre séchée à l'air (1).

TERRES MISES EN EXPÉRIENCES	POTASSE extraite de la terre normale.	POTASSE extraite de la terre plâtrée.	DURÉE de l'expérience.
	gr.	gr.	
Terre d'Éragny (Seine-et-Marne), jamais plâtrée.....	0.084	»	»
Terre d'Alfort (Seine), jamais plâtrée.....	0.082	»	»
Terre de la Guéritaude (Indre-et-Loire), plâtrée avec grand avantage.....	traces	0.105	12 heures.
Autre terre de la Guéritaude (Indre-et-Loire), plâtrée avec grand avantage.....	traces	0.192	12 heures.

(1) Le travail sur le plâtrage des terres arables, que nous venons de résumer ici,

On voit que l'eau enlève à une terre plâtrée plus de potasse qu'à une terre qui ne l'a pas été, puisqu'en lavant dix échantillons d'un kilogramme de terres très diverses, on leur a enlevé 1gr,095 de potasse, tandis que les mêmes terres, après avoir été plâtrées, ont cédé à l'eau 2gr,525 de potasse. On voit encore que les terres qui ne sont pas plâtrées avec avantage abandonnent à l'eau de la potasse, tandis que celles qui sont plâtrées, au contraire, ne cèdent à l'eau cet alcali qu'après qu'elles ont été additionnées de gypse.

Ces faits tendent donc à démontrer que la véritable fonction du plâtre, serait de favoriser la solubilité de la potasse; pour le démontrer encore plus complètement, on a tenté quelques essais synthétiques.

On a mélangé à des matières absorbantes, terre ou kaolin, à du plâtre; on a laissé d'autres échantillons sans addition, puis on a ajouté aux uns et aux autres des quantités égales de carbonate de potasse en dissolution étendue, et on a reconnu sans peine que les terres plâtrées retenaient moins bien la potasse que celles qui étaient restées à l'état normal.

Il était facile d'en trouver la raison, le carbonate de potasse ajouté à une terre plâtrée se métamorphose en sulfate et nous avons déjà vu (§ 137) que les sulfates sont moins bien absorbés que les carbonates.

On comprend dès lors que si des carbonates se produisent dans les couches superficielles d'un sol, par l'action des micro-organismes brûlant peu à peu les débris végétaux, ce carbonate de potasse, bien retenu dans ces couches par les propriétés absorbantes, ne pourront être d'aucune utilité à des plantes à racines pivotantes s'enfonçant profondément dans le sol, comme les légumineuses, mais que si on ajoute à ce sol du plâtre qui métamorphose le carbonate de potasse en sulfate beaucoup plus diffusible, ce sulfate pourra s'enfoncer dans le sol.

Le plâtre a donc pour effet de mobiliser la potasse, de la faire passer des couches superficielles où elle est habituellement retenue, dans les couches profondes où s'enfoncent les racines des légumineuses.

S'il en est ainsi, on conçoit que le sulfate de chaux ne doit pas être seul à exercer son effet, et pourra être remplacé par d'autres sulfates. Or, il est reconnu que les agronomes ont obtenu d'excellents effets d'un mélange de sulfate de magnésie et de sulfate de potasse; les récoltes ainsi traitées ont été supérieures à celles qui avaient reçu du plâtre seulement, et cela se conçoit, car le plâtre ne crée pas la potasse il ne fait que mobiliser celle que renferme le sol. Si donc on ajoute à la terre arable la matière même que le plâtre doit rendre soluble, on produira un effet plus marqué encore que celui que détermine le gypse lui-même.

Nous trouvons un argument singulièrement favorable à cette manière de voir dans les expériences de MM. Lawes et Gilbert, portant sur la culture du trèfle rouge, maintenues pendant plusieurs années, sur les mêmes sols. Pendant les quatre dernières années, l'hectare a rendu sans engrais une quantité totale de foin dépassant 35,200 kilos : c'est 8,800 kilos environ par année moyenne. Quand le sol a reçu du plâtre, il a donné pendant ces quatre ans 47,500 kilos environ, ce qui a fait monter la moyenne pour chaque année à un chiffre voisin de

a été publié dans les *Annales du Conservatoire des Arts et métiers* en 1863. Les faits qui suivent sont extraits d'un second travail publié seulement en 1865.

12,000 kilos, mais cependant un peu inférieur. Quand, enfin, on a amendé la terre avec des sulfates de potasse, de soude et de magnésie, on a obtenu un produit total supérieur à 55,000 kilos, et par conséquent la moyenne annuelle a été de 13,850 kilos.

Is. Pierre a reconnu également que le sulfate de magnésie exerçait sur le trèfle et le sainfoin une action tout à fait comparable à celle du plâtre.

Les sulfates sont réduits dans la terre arable et les bases amenées à l'état de carbonates. — Quand on fait l'analyse des cendres des plantes plâtrées, on y rencontre plus de chaux et de potasse que dans les cendres des plantes non plâtrées, mais on est frappé en même temps de trouver dans ces cendres une très petite quantité d'acide sulfurique, et qui est loin de correspondre aux proportions d'alcalis que présentent les cendres. M. Boussingault a constaté le fait depuis longtemps (page 542), et nos analyses le confirment complètement.

Nous avons trouvé en effet, dans 100 grammes de cendres provenant des tiges d'un trèfle plâtré :

Chaux	20.68
Potasse	8.90
Acide sulfurique	5.76

et dans les racines :

Chaux	16.10
Potasse	3.90
Acide sulfurique	10.01

et il aurait fallu dans les cendres des tiges 38,4 d'acide sulfurique au lieu de 5,76, et dans les racines 26,9 d'acide sulfurique au lieu de 10,01, pour que les alcalis fussent à l'état de sulfates.

Il est facile de se convaincre cependant que les plantes absorbent les sulfates aussi bien que les autres sels solubles qui arrivent au contact de leurs racines. On démontre cette absorption du sulfate de chaux en faisant végéter les plantes dans du sable pur ou dans du coton, et en les arrosant avec une dissolution de sulfate de chaux, qu'elles supportent parfaitement. Les expériences ont porté sur du cresson alénois et sur des fèves : le cresson, séché et brûlé, a donné des cendres renfermant de l'acide sulfurique et de la chaux; une fève développée dans du coton, et qui pesait sèche 1^{gr},460, a donné 0,095 de cendres renfermant 0,006 d'acide sulfurique et 0,004 de chaux : c'est-à-dire que ces deux corps se trouvaient dans le rapport de 40 à 28, qui est celui sous lequel s'unissent la chaux et l'acide sulfurique. Au reste, toutes les analyses de cendres démontrent dans les plantes la présence de petites quantités de sulfates; il est donc certain qu'ils peuvent pénétrer dans les végétaux, aussi notre théorie laisse-t-elle jusqu'à présent quelque chose à désirer. Nous attribuons les bons effets du plâtrage à la transformation des carbonates en sulfates, et nous ne pouvons cependant affirmer que la chaux ou la potasse sont entrées dans les plantes à l'état de sulfate, puisque nous ne trouvons pas dans les cendres des végétaux qui se sont développés dans un sol plâtré ces sels eux-mêmes, mais seulement un de leurs éléments.

Or, quand on introduit du plâtre dans une terre, on constate, après quelque temps que l'acide sulfurique est réduit, surtout quand la terre est particuliè-

rement riche en matières organiques ; après un mois, on a constaté la disparition de 0gr,55 d'acide sulfurique dans une terre médiocrement riche en humus, de 0gr,100 dans une terre plus chargée de matière organique, et enfin de 0gr347 dans du terreau de maraîcher ; il se produit dans le sol une réduction analogue à celle qu'on constate dans un tas de fumier où les sulfates sont amenés à l'état de sulfures, d'où, l'odeur nauséabonde du purin chargé de sulfhydrate d'ammoniaque.

Les sulfures réduits dans le sol n'y persistent pas dans cet état ; ils sont décomposés par l'acide carbonique et en même temps que l'hydrogène sulfuré est mis en liberté, les bases passent à l'état de carbonates ; de telle sorte que la potasse contenue dans les couches superficielles à l'état de carbonate prend, sous l'influence du plâtre, une *forme de voyage* en se transformant en sulfate, et descend dans le sous-sol ; elle n'y persiste pas à cet état, les sulfates sont réduits et la potasse ramenée à sa combinaison primitive avec l'acide carbonique, mais elle s'y trouve actuellement aux points mêmes où pénètrent les racines pivotantes des légumineuses et peut y exercer une action décisive, car les légumineuses sur lesquelles le plâtre est particulièrement efficace bénéficient au plus haut point des matières ulmiques dont le carbonate de potasse assure la dissolution.

Influence du plâtrage sur l'assimilation des matières ulmiques. — En 1889, deux parcelles du champ d'expériences de Grignon, restées sans engrais depuis 1875, portaient du trèfle : les récoltes étaient très faibles, bien que les racines fussent garnies de tubercules à bactéries ; il était manifeste que grâce à l'activité de ces bactéries l'azote ne pouvant faire défaut et qu'un autre élément manquait pour que les plantes pussent atteindre le vigoureux développement que présentaient leurs voisines ensemencées sur des parcelles régulièrement fumées.

On eut l'idée d'ajouter au sol du superphosphate et du chlorure de potassium, cette addition ne produisit aucun effet utile.

Nous avons vu plus haut que les parcelles restées sans engrais depuis 1875 sont actuellement très appauvries en matières ulmiques, la proportion de carbone n'y est plus la moitié de ce qu'elle était à l'origine ; or il semble que certaines matières ulmiques soient nécessaires au développement des papilionacées ; on sait que s'il est possible de cultiver indéfiniment sur le même sol le blé ou l'orge ainsi que l'ont montré les belles expériences de Rothamsted dont il a été si souvent question dans cet ouvrage, on a toujours échoué dans les tentatives de culture continue du trèfle ; j'ai eu occasion de le constater, quand, en 1874, j'ai visité le domaine sous la conduite du Dr Gilbert : les pièces consacrées à cet essai de culture continue ne portaient aucune trace de végétaux ; une seule plate-bande de jardin, située près de la maison de M. Lawes, fumée sans doute copieusement pendant un grand nombre d'années avec cette profusion habituelle aux jardiniers, portait du trèfle depuis plusieurs années ; il y prospère encore aujourd'hui. Ainsi là où les matières ulmiques sont abondantes les légumineuses se développent, nous avons eu une nouvelle preuve de la nécessité pour cette famille de végétaux de rencontrer dans le sol des matières ulmiques dans l'expérience réalisée à Grignon en 1890 (1).

Ces faits étant posés, il reste à voir en quoi le plâtrage en mobilisant la po-

(1) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 49.

tasse peut favoriser la dissolution et l'assimilation de ces sortes de matières; il est à remarquer d'abord qu'elles sont solubles dans les alcalis et que cette dissolution n'est que partiellement retenue par la terre arable; quand on y fait filtrer les matières noires du fumier, les eaux qui s'écoulent sont ambrées; les sels de chaux, en outre, ne précipitent qu'incomplètement les matières ulmiques, quand on mélange les ulmates alcalins à des sels de chaux, les dissolutions ne sont pas complètement décolorées.

Les points suivants sont donc établis : les matières ulmiques sont favorables au développement des légumineuses; ces matières ulmiques sont insolubles dans l'eau pure, mais solubles dans l'eau chargée de carbonate de potasse et on conçoit comment il peut être utile de soustraire ce carbonate de potasse aux propriétés absorbantes des terres arables, de le mobiliser, sous forme de sulfate, il est vrai, forme sous laquelle la potasse est momentanément inerte, mais forme transitoire bientôt abandonnée quand la potasse par réduction des sulfates repasse à l'état de carbonate, où elle agit sur les matières ulmiques, et précisément dans les couches profondes du sol où s'enfoncent les racines des légumineuses.

On remarquera que cette manière de voir s'accorde très bien avec les faits constatés par la pratique agricole, qui a reconnu que les céréales qui ne bénéficient pas de l'emploi du plâtre, ne tirent pas non plus grand bénéfice des matières ulmiques; au champ d'expériences de Grignon, les parcelles épuisées de matières ulmiques qui ne peuvent plus porter de bonnes récoltes de betteraves ou de trèfle, fournissent encore une quantité d'avoine considérable.

CHAPITRE III

JACHÈRE. — ÉCOBUAGE.

JACHÈRE.

Le vieil assolement triennal qui dit-on remonte à Charlemagne et qui s'est perpétué jusqu'à nos jours dans une grande partie de l'Europe, comprenait deux céréales suivies d'une année de *jachère* pendant laquelle la terre labourée restait exposée à l'action de l'air sans porter aucune récolte. Quand à la fin du dix-huitième siècle la culture du trèfle s'est répandue et qu'elle s'est introduite dans l'assolement triennal pour y remplacer l'année de jachère, cette culture a reçu le nom de jachère cultivée, mais c'est là une mauvaise locution qui tend à disparaître; un sol est en jachère quand après avoir été labouré, il reste exposé à l'action de l'atmosphère sans être ensemencé.

A mesure que la population s'accroît, que la terre acquiert plus de valeur, que son prix de location devient plus élevé, la jachère tend à disparaître; elle n'est plus maintenue aujourd'hui que sur certains sols difficiles à travailler; toutefois pour qu'elle ait été con-

servée pendant des siècles, il fallait qu'elle eût quelques avantages qu'il est intéressant d'indiquer.

§ 164. — La jachère facilite le travail du sol.

Nous avons insisté dans la seconde partie de cet ouvrage (chapitre II) sur l'importance que présente pour la réussite des cultures un très bon travail du sol, nous savons qu'il doit être en quelque sorte pulvérisé par les instruments, pour que l'air et l'eau le pénètrent aisément, qu'il faut en outre, que tassée par les rouleaux, la terre soit *continue*. Or, toutes les saisons ne sont pas convenables pour exécuter les travaux et dès l'antiquité les cultivateurs ont observé que le labour inopportun d'une terre forte, la gâte, parfois pour plusieurs années ; les mottes durcies, lissées par la charrue restent entières si elles ne sont pas exposées à une forte gelée, et les herses et les rouleaux sont quelquefois impuissants à les briser ; or, dans le mode de culture sans jachère, les récoltes se succèdent si rapidement qu'on ne peut choisir le moment opportun pour travailler le sol, tandis que lorsque la jachère revient périodiquement, on peut labourer aux époques où la terre se prête bien à un travail soigné.

Les avantages que présentent ces labours en temps opportun sont tels, notamment pour les terres fortes, qu'en Angleterre, à deux reprises différentes, on a préconisé la culture avec jachère, mais sans engrais, prétendant les remplacer par des travaux très soignés : au siècle dernier Jethro Tull vantait cette méthode et plus récemment en 1849, le pasteur Smith, qui cultivait à Loïs Veedon, préconisait encore un nouveau système de culture du blé sur jachère, sans engrais.

Il annonçait que les cultivateurs qui suivraient sa méthode obtiendraient un profit de 100 à 150 francs par hectare. Ce système fit grand bruit : il consistait à diviser le champ cultivé, en un certain nombre de bandes parallèles d'une faible largeur, emblavées pendant une année, puis laissées en jachère pour être remises en culture après une année de repos. Si, pour faire mieux comprendre le système de Loïs Veedon, nous supposons que toutes les bandes soient numérotées, nous dirons que pendant l'année courante, par exemple, toutes les bandes paires seront en blé, tandis que les bandes impaires resteront en jachère, recevront de nombreuses façons et seront parfaitement ameublies : à l'automne ces bandes bien travaillées seront ensemencées de blé, tandis que les bandes paires resteront en jachère pendant toute l'année suivante et ainsi de suite.

Les nombreux visiteurs qu'attira à Loïs Veedon l'annonce des résultats obtenus par le R. Smith constatèrent qu'il n'avait rien exagéré et qu'il montrait des récoltes justifiant son système; quand cependant on essaya de mettre en pratique ailleurs, le mode de culture réalisé à Loïs Veedon, on échoua la plupart du temps.

Parmi les agronomes qui répétèrent ces expériences, il faut citer MM. Lawes et Gilbert qui ont consacré un mémoire important à l'examen de ce sytème(1). Les expériences comparatives furent continuées à Rothamsted pendant quatre ans. Aux parcelles cultivées par le procédé du R. Smith s'en trouvaient jointes: une autre, qui fut emblavée en froment pendant les quatre ans, sans jamais passer par la jachère, puis une troisième qui porta du blé la première année, resta en jachère sur toute son étendue pendant la seconde année et donna encore du blé pendant la troisième et la quatrième année.

Le résultat ne fut pas favorable au système de Loïs Veedon, car une surface déterminée prise dans les bandes alternativement cultivées et laissées en jachère ne donna pas un rendement supérieur à celui qu'on obtint de la même surface du sol constamment emblavé. L'influence de la jachère étendue à un plus grand espace fut cependant bien sensible, car la parcelle restée en repos complet pendant toute une année, donna une récolte bien supérieure à celle des terres cultivées par la méthode du Rév. Smith et à celle qui était restée constamment emblavée; elle ne conserva pas au reste cette fertilité exceptionnelle et à la quatrième récolte, elle ne donna plus qu'un produit semblable à celui que fournit la terre qui n'avait cessé de produire.

L'exposé de ces essais n'a plus qu'un intérêt historique, ils démontrent qu'un des avantages de la jachère est de permettre un très bon travail du sol, ils font voir que les façons répétées peuvent jusqu'à un certain point compenser la pénurie d'engrais, en déterminant une nitrification abondante des réserves azotées du sol; ils permettent par suite de comprendre comment nos prédécesseurs, souffrant habituellement du manque d'engrais, trouvaient un avantage à conserver la jachère; si cependant cette pratique n'avait pas d'autres avantages, elle n'aurait plus pour notre agriculture mieux pourvue de matières fertilisantes qu'une très faible utilité, mais elle présente d'autres avantages sur lesquels il convient d'insister.

§ 165. — La jachère permet la destruction des plantes adventices.

On sait que l'ancien assolement triennal ne comprenait que la culture des céréales. Au moment où A. Young voyage en France, pendant la Révolution, les cultivateurs qu'il entretient ne lui font

(1) *The Journal of the royal agricultural Society of England*, vol. XVII, p. 2, 1856. Voyez aussi la traduction qu'a donnée M. Ronna des expériences de Rothamsted.

qu'une question, pour juger de la valeur des pratiques qu'il préconise, ils répètent : « Est-ce bon pour le blé? » C'était là la culture par excellence; l'avoine arrivait l'année suivante, après le blé ; on laissait croître dans les chaumes d'avoine les mauvaises herbes qui servaient à l'alimentatien du bétail, car la vaine pâture était partout établie (1), le sol se couvrait donc de plantes adventices, et si on n'avait procédé à leur destruction pendant l'année de jachère, les rendements auraient diminué dans une énorme proportion. A Grignon, j'ai essayé la culture continue de l'avoine, elle a duré huit ans, mais pendant les deux dernières années les rendements sont tombés à 14 quint. et 11 quint. de grain à l'hectare ; les parcelles fumées n'étaient pas meilleures que celles qui n'avaient pas reçu d'engrais, l'avoine y était étouffée par le développement exubérant des mauvaises herbes devenues d'autant plus vigoureuses que le sol était plus riche; en 1883, on changea l'avoine de place et le rendement avec la même variété remonta à 28 quintaux.

Cet exemple montre très bien que la culture continue des céréales ne pouvait être fructueuse qu'autant que le sol travaillé pendant l'été était débarrassé de toutes les plantes adventices qu'il portait, enfouies par la charrue elles apportaient au sol un maigre supplément d'engrais. Aujourd'hui la jachère est abandonnée partout où s'est introduite la culture des plantes sarclées : betteraves, pommes de terre ; il est toujours possible pendant l'été de pénétrer dans les cultures et d'y détruire les mauvaises herbes, et bien que dans le Nord et le Pas-de-Calais la terre ne soit jamais en jachère, les cultures sont absolument propres, tant les sarclages sont faits avec soin.

Dans le Midi la culture du maïs fort espacé, remplace celle des racines, les sarclages y sont toujours possibles, par suite la jachère n'y est plus nécessaire pour se débarrasser des plantes adventices.

§ 166. — Influence qu'exerce la jachère sur l'enrichissement du sol.

L'introduction des plantes sarclées, l'habitude qu'on a prise d'enlever les plantes adventices, non seulement dans les betteraves ou les pommes de terre, mais même dans le blé qu'on cultive souvent à grand intervalle pour que les binages soient faciles, permettent donc d'avoir des cultures propres sans jachère, mais il convient

(1) Voyez *Ann. agron.*, t. XVII, p. 338, un très intéressant article de M. Boiret.

d'examiner si pendant qu'elle reste toute une année exposée à l'action des agents atmosphériques, la terre ne profite pas des apports d'azote atmosphérique en quantités telles que la pratique de la jachère doive être conservée partout où le cultivateur est dans une situation telle que les achats d'engrais lui sont interdits, et bien que nous ayons déjà traité ce sujet dans la seconde partie de cet ouvrage (page 498) nous y reviendrons rapidement.

Gains d'azote. Ammoniaque et acide azotique des eaux météoriques. Fixation d'azote libre. — Au moment où les agronomes se refusaient à croire que l'azote atmosphérique pût intervenir dans les phénomènes de végétation, ils ont étudié avec beaucoup de zèle les eaux météoriques, espérant y trouver des proportions suffisantes d'ammoniaque et d'acide azotique pour expliquer la persistance de la végétation dans les forêts, les prairies et même le maintien de la fertilité des terres soumises aux assolements réguliers dans lesquels, l'azote des récoltes surpasse celui des engrais (voy. page 123, 492 et suivantes).

Nous avons rapporté déjà page 122 quelques-uns des nombres trouvés récemment pour les régions tropicales ; les chiffres relatifs aux climats tempérés sont plus faibles. Boussingault calculait qu'en Alsace, où la hauteur de pluie est de 680 millimètres, les 6,080 mètres cubes déversés annuellement sur la surface d'un hectare lui apportaient $2^{kil},300$ d'ammoniaque et $3^{kil},4$ d'azote nitrique ou $5^{kil},7$ pour une année : à Rothamsted la pluie est plus abondante, on trouve qu'elle apporte de 6 à 8 kilogrammes d'azote ammoniacal et seulement $0^{kil},8$ d'azote nitrique ; on a calculé en moyenne pour les deux années : 1855-56 : $8^{kil},08$ d'azote total. A la station agronomique d'Ida Marienhutte, M. Bretschneider a déterminé la composition de l'eau de pluie pendant six ans, il a trouvé comme moyenne pour l'azote combiné $11^{kil},12$ avec un minimum de $7^{kil},68$ et un maximum de $14^{kil},1$. Ces recherches ont très été multipliées ; elles conduisent à cette conclusion que les quantités d'azote combiné que le sol reçoit des eaux météoriques est faible et tout à fait insuffisant pour qu'on puisse en tirer des arguments favorables au maintien de la jachère.

Nous avons également rappelé un travail très étendu de M. Schlœsing, dans lequel il discute l'influence que peut avoir sur la végétation et sur la terre arable, l'ammoniaque exhalée de l'eau de la mer. Ce sujet est traité avec tout le développement qu'il comporte dans le dixième volume de l'Encyclopédie chimique de

M. Frémy, dans un fascicule intitulé *Contribution à l'étude de la chimie agricole* et nous y renvoyons le lecteur.

En résumé, il ne me semble pas que l'ammoniaque atmosphérique exerce une influence bien sensible sur l'enrichissement du sol.

En est-il de même des gains d'azote libre qui d'après M. Berthelot se produisent dans les terres nues; nous avons indiqué page 495 que ces fixations d'azote sont assez notables et on pourrait y trouver un argument en faveur du maintien de la jachère, si on n'avait à tenir compte des pertes que subissent les terres sans végétation.

Pertes d'azote d'un sol dénudé. — Une terre exposée à l'action de l'air perd ou gagne de l'ammoniaque suivant les conditions dans lesquelles elle est placée, un ancien proverbe dit que *la neige engraisse le sol*, une observation de Boussingault tendait à montrer qu'il n'est pas dénué de vérité; cet illustre agronome a déterminé la quantité d'ammoniaque contenue dans la neige qui avait séjourné quelque temps sur une terrasse et celle qui avait été ramassée sur une plate-bande de jardin quelques jours après sa chute, il a dosé :

	Ammoniaque par litre.
Eau de la neige ramassée sur la terrasse.....	$1^{milligr},78$
— ramassée sur la plate-bande de jardin.....	$10^{milligr},34$

« Il me semble de la dernière évidence, ajoute Boussingault, que l'ammoniaque trouvée en si grande proportion dans la neige du jardin provenait pour la plus grande partie des vapeurs émanant du sol. »

Ces pertes d'ammoniaque sont toutefois minimes comparées à celles qu'amène l'entraînement des nitrates par les eaux de drainage; celui-ci occasionne une déperdition si énorme que pour l'éviter, il convient, ainsi qu'il a été dit déjà, de semer à l'automne une plante à évolution rapide destinée à les retenir.

On voit donc que si d'une part la terre exposée sans végétation à l'action de l'air peut gagner :

1° De petites quantités d'ammoniaque ou d'acide azotique amenées par les eaux météoriques ou contenues dans l'atmosphère;

2° De l'azote atmosphérique fixé par les micro-organismes suivant la manière de voir proposée par M. Berthelot.

Elle est soumise d'autre part à une déperdition considérable d'azote combiné, due à la nitrification et à l'entraînement des nitrates dans les eaux de drainage.

Quelle est celle de ces deux influences qui domine, c'est là ce qu'il faudrait savoir pour qu'en se bornant à ce seul point de vue on pût condamner ou au contraire préconiser le jachère.

Cette question n'est probablement pas susceptible d'une solution générale; il convient au contraire de distinguer deux conditions différentes.

Si la terre a été enrichie par de nombreuses fumures, elle ne gagne pas d'azote libre (Berthelot, Schœsing). J'ai montré d'autre part que dans ces terres les déperditions surpassaient beaucoup les prélèvements des récoltes, sans doute parce que la nitrification était très active ; dans ces conditions, il est manifeste que la jachère est déplorable, aussi est-elle absolument disparue des sols soumis à la culture dite intensive. Il n'en est plus ainsi pour les terres maigres, pauvres, mal fumées, ce sont ces terres qui fixent l'azote atmosphérique ainsi que l'a observé M. Berthelot, ainsi que je l'ai constaté également à l'école de Grignon, puisque c'est seulement quand elles ont été appauvries, que les terres du champ d'expériences ont commencé à récupérer l'azote qu'elles avaient perdu pendant les premières années ; les pertes par nitrification s'y atténuent et il est possible que dans ces conditions les terres en jachère nue s'enrichissent.

Très habituellement en outre, la terre ne reste pas absolument dénudée pendant l'année où elle n'est pas régulièrement emblavée; des plantes adventices s'y développent, elles retiennent les nitrates, et au moment des grands labours, elles contribuent à l'enrichissement du sol; c'est ainsi notamment que les choses se passent en Algérie, en Tunisie, et partout où la terre est abondante et la population rare. Dans ces régions, une terre est cultivée pendant une ou deux années, puis abandonnée, elle se couvre d'une maigre végétation qui peu à peu lui donne une teneur en humus suffisante pour alimenter de faibles récoltes; mais en réalité, cette terre n'est plus en jachère, c'est une steppe verdoyante au printemps, brûlée pendant l'été, qui ne nourrit les troupeaux des nomades qu'à la condition qu'ils auront de vastes espaces à parcourir, et si de semblables méthodes de culture conviennent aux contrées pauvres où l'étendue des espaces cultivées compense la faiblesse des rendements, si dans ces conditions, la jachère peut durer, elle n'a plus de raison d'être dans nos sols qui reçoivent de copieuses fumures.

ÉCOBUAGE.

On désigne sous le nom d'écobuage une opération qui a pour but de modifier les propriétés physiques du sol arable par l'action d'une température élevée et en même temps de débarrasser le sol des végétaux qu'il porte ou des débris qu'ils y ont laissés. Ce dernier résultat est le plus important à obtenir et l'on applique particulièrement l'écobuage aux vieilles prairies infestées de mousses, aux friches couvertes de plantes vivaces difficiles à extirper, gênets, ajoncs et bruyères. Dans les pays chauds, on brûle aussi quelque temps avant la saison des pluies, les pâturages chargés d'herbes dures et sèches; au moment où la pluie arrive, les graminées repartent du pied, qui n'a pas été détruit et une herbe verte et tendre remplace celle qui ne pouvait plus être consommée par le bétail. Cette pratique est au reste fort dangereuse, bien souvent la flamme se communique aux forêts, ou plutôt aux taillis et aux broussailles qui la plupart du temps en Algérie et en Tunisie sont désignés bien à tort sous le nom de forêts, donnant aux personnes qui ne les ont pas parcourus l'idée fausse qu'elles exercent sur le climat une action semblable à celle de nos grands bois du Nord, impénétrables aux rayons du soleil où règne toujours une fraîcheur inconnue dans les massifs algériens.

L'écobuage a surtout pour but ainsi qu'il a été dit de modifier la constitution physique du sol, on ne pourrait y réussir par un simple brulis, et l'opération exige un découpage du sol en plaquettes au moyen d'un *écobue*, sorte de bêche légèrement courbée plus large au tranchant qu'à la douille et à laquelle est adapté à 45 centimètres, un manche de bois. Les plaquettes de terre dressées les unes contre les autres se dessèchent peu à peu; elles sont alors disposées en forme de pain de sucre, les plantes en dedans autour de menu bois auquel on met le feu; les racines, les tiges sèches brûlent, l'argile se durcit en prenant une consistance analogue à celle de la brique et le tout est répandu sur le sol.

Nous avons insisté dans les premiers chapitres de la seconde partie de cet ouvrage sur les différences de propriétés physiques que présentent les terres argileuses et les terres siliceuses; nous avons reconnu en même temps qu'il était à peu près impossible de changer la nature physique d'un sol sans s'engager dans des dépenses hors de toute proportion avec les avantages à obtenir;

l'écobuage permet cependant d'accomplir dans une certaine mesure ces modifications. Si le feu n'exerce pas grande action sur le sable, il n'en est plus de même pour l'argile. Quand celle-ci est calcinée, elle change complètement de nature : au lieu d'être plastique, tenace, de conserver l'eau, d'être *froide*, elle acquiert toutes les propriétés du sable; elle est cassante, se pulvérise aisément, l'eau la traverse sans difficulté, et l'on conçoit sans peine qu'une terre très argileuse pourra être modifiée heureusement par l'écobuage, puisque celui-ci aura pour effet de tempérer, par l'adjonction d'une matière analogue au sable, les propriétés trop dominantes de l'argile.

Les travaux de MM. Huxtable, Thompson, Way et Brustlein, nous ont montré que les terres possédaient la propriété importante de retenir certains principes des engrais; l'ammoniaque, les phosphates, la potasse, sont absorbés par certains sols, qui les enlèvent aux dissolutions avec lesquelles ils sont en contact. (Voyez dans la 2e partie, chapitre v : les propriétés absorbantes des terres arables). Mais si nous comparons, dans les tableaux auxquels nous renvoyons le lecteur, les propriétés absorbantes des terres argileuses à celles des terres siliceuses, nous reconnaissons de grandes différences : celles-ci, bien plus facilement que celles-là, laissent filtrer les principes des engrais. Or, nous avons reconnu que les plantes prennent souvent leurs aliments dans des dissolutions, et nous comprenons que si l'eau qui baigne leurs racines est privée, par l'action de la terre, d'une partie des principes qu'elle tient en dissolution, la plante pourra souffrir. Il s'établit ainsi qu'il a été dit déjà, une sorte de lutte entre les propriétés absorbantes de la terre et l'action dissolvante de l'eau : dans les terres argileuses, les propriétés absorbantes sont très puissantes, et les agriculteurs savent que lorsqu'ils amènent, par des labours profonds, des sous-sols argileux à la surface, il faut forcer la dose d'engrais pour que les propriétés absorbantes des argiles étant satisfaites, l'effet des fumures se fasse sentir. Il en est tout autrement avec les terres riches en sable, et l'on conçoit que, si l'on prive une partie de l'argile de ces propriétés absorbantes par la calcination, si on l'amène par l'écobuage à partager les propriétés du sable, on puisse faire prédominer l'action dissolvante de l'eau, et suppléer dans une certaine mesure à l'abondance des engrais en facilitant la dissolution de leurs principes solubles.

Comment se détruisent les propriétés absorbantes des argiles par la calcination? C'est d'une part par la destruction de l'humus; c'est en outre par le changement d'état de l'argile qui perd la forme colloïdale sous laquelle il retient très aisément l'eau et les matières dissoutes, pour se convertir en une matière poreuse analogue au sable. Cette porosité favorise singulièrement l'action de l'air. Or, si les plantes ne prennent pas seulement leurs aliments azotés dans les nitrates et dans les sels ammoniacaux, mais aussi dans certains principes azotocarbonés plus complexes, on conçoit combien il peut être avantageux de favoriser l'accès de l'air, qui métamorphose les matières noires insolubles en principes assimilables.

L'écobuage a non seulement enfin pour effet de modifier les propriétés physiques du sol, il l'enrichit, en outre, des sels contenus dans les plantes brûlées.

La pratique de l'écobuage, beaucoup plus répandue dans les contrées peu peuplées que dans notre pays, est déjà fort ancienne, puisque Virgile la mentionne (*Géorgiques*, I, 84).

CHAPITRE IV

IRRIGATIONS.

La distribution de la pluie est très différente dans le Nord et dans le Sud de l'Europe : tandis que les régions septentrionales jouissent de pluies estivales assez fréquentes, que les longues périodes de sécheresse y sont rares, que pendant la période de végétation active les plantes reçoivent une quantité d'eau suffisante pour parcourir régulièrement tout leur développement, que même ces quantités d'eau s'exagérant sur les bords de la mer du Nord font de ses rivages depuis la presqu'île du Cotentin jusqu'au Jutland le lieu d'élection des prairies naturelles, il est bien loin d'en être ainsi dans le Midi; non seulement la précipitation de l'eau y est souvent moins abondante que dans le nord, mais en outre, elle est très irrégulière, de véritables trombes s'abattent sur la contrée, et causent souvent à l'automne ou au printemps dans les vallées des parties accidentées, des inondations désastreuses; à ces pluies diluviennes succèdent de longues périodes de sécheresse pendant lesquelles la terre, soumise aux radiations d'un soleil implacable, perd par évaporation infiniment plus d'eau qu'elle n'en a reçu pendant la saison des pluies; aussi

la culture n'est-elle florissante ou même possible dans ces contrées, que là où arrivent les eaux d'arrosage qui compensent la différence qui existe entre les précipitations et l'évaporation.

Plus on descend dans le Sud et plus cette nécessité des irrigations apparaît clairement.

Quand, en partant de Constantine, on se dirige vers le Sahara, et qu'après avoir franchi le massif de l'Aurès, on descend par El Kantara jusque dans la région des oasis, qu'on voit, à Biskra et dans les oasis voisines arrosées par les eaux qui descendent des montagnes, une végétation luxuriante de palmiers, d'orangers, de légumes, d'orge, etc., partout où l'eau arrive, tandis qu'à quelques pas, la même terre reste stérile, presque dénudée, quand elle n'est pas arrosée, on reconnaît que dans ces régions l'irrigation est la condition même de la culture. Aussitôt que la sonde fait jaillir les eaux souterraines dans la région de l'Oued Rir, le désert fait place aux oasis, autour desquelles se groupe bientôt une nombreuse population.

Irrigations en Provence. — S'il n'en est plus tout à fait de même dans le Midi de la France, il est facile de voir que la pluie moyenne est tout à fait insuffisante pour permettre le développement de bonnes récoltes.

Voici, en effet, la valeur de cette hauteur de pluie en divers points de la région du Midi :

Marseille	197^{mill},4
Arles	199 ,2
Saint-Remy	236 ,6
Avignon	424 ,0
Apt	262 ,0
Carpentras	307 ,0
Orange	567 ,0

En multipliant ces chiffres par 10,000 pour avoir la quantité d'eau que reçoit un hectare, on a 1,974 mètres cubes pour Marseille, près de 2,000 mètres cubes pour Arles, etc.; or, une récolte d'une plante herbacée exige par tonne de matière sèche de 250 à 300 mètres cubes d'eau; pour obtenir une bonne récolte de 10 tonnes de matière sèche, il faut de 2,500 à 3,000 mètres cubes d'eau, quantité supérieure à celle que donne la pluie dans presque toute la région; or cette pluie n'est naturellement utilisée que très partiellement, puisque ainsi qu'il vient d'être dit, elle tombe souvent en grandes masses qui s'écoulent sans profit; aussi la cul-

ture des plantes herbacées n'est-elle réellement profitable que là où sont pratiquées les irrigations.

Dans toute la région méridionale, l'eau ne sert que par elle-même, elle est employée trop parcimonieusement pour que les matières dissoutes qu'elle renferme exercent une action bien manifeste; il n'en est plus de même dans d'autres régions, notamment dans les Vosges où les eaux répandues avec une extrême profusion sur des terres très perméables apportent aux prairies une quantité de matières alimentaires suffisante pour dispenser de tout apport d'engrais, ce mode particulier d'emploi des eaux d'arrosage devra donc être exposé séparément.

§ 167. — Quantités d'eau employées par diverses cultures dans les régions méridionales.

Des expériences ont été faites dans ces dernières années dans le but de détermiter les quantités d'eau indispensables à la culture de certaines plantes dans le Midi de la France (1).

Les chiffres suivants se rapportent à divers terrains situés dans la région d'Aix.

Les prairies naturelles et les jardins doivent être arrosés, dans les circonstances normales, une fois tous les huit jours, pendant six heures à raison de 30 litres par seconde et par hectare. Chaque arrosage absorbe un volume de 648 mètres cubes et correspond à un débit continu de 93 centimètres 8 par seconde. La saison d'arrosage dure en général cent quatre-vingt trois jours, du 1er avril au 1er octobre. Il faut donc exécuter pendant cette période vingt-trois arrosages, ce qui exige annuellement environ 15,000 mètres cubes d'eau.

Pour les prairies artificielles, ordinairement plantées en luzerne, on arrose tous les douze jours pendant six heures à raison de 30 litres par seconde et par hectare, les quinze arrosages de la saison consomment environ 10,000 mètres cubes à l'hectare.

On calcule qu'un débit continu de 1 litre par seconde suffit à l'arrosage d'un hectare de prairie naturelle et d'un hectare et demi de prairie artificielle. D'ordinaire en Provence on n'arrose pas le blé; il croît pendant l'hiver et au printemps au moment où les pluies sont suffisantes. Quand cependant l'hiver n'a pas été pluvieux, on

(1) Nous empruntons une grande partie de ce chapitre au mémoire que la Direction de l'Hydraulique du ministère de l'Agriculture a inséré dans les *Ann. agron.*, t. XVII, p. 241.

procède à un arrosage au printemps entre le 15 avril et le 15 mai. L'arrosage du printemps se fait à raison de 30 litres par seconde et par hectare et dure neuf heures. Il nécessite un volume de 648 mètres cubes et correspond à un débit continu de 4 centilitres par seconde et par hectare.

D'autres plantes, comme la pomme de terre, le chardon à carder, demandent, si le sous-sol n'est pas trop perméable, une quantité d'eau correspondant à un débit continu d'environ 1 litre par seconde, ou environ 15,800 mètres cubes.

L'olivier est arrosé deux fois par an; la première fois au mois de juin, la seconde au mois d'août. Chaque arrosage dure deux heures un quart à raison de 6 litres par seconde et par hectare. Le volume d'eau employé est de 486 mètres cubes, soit pour les deux arrosages environ 1,000 mètres cubes, ce qui correspond à un débit continu de 63 centilitres par hectare et par seconde.

Il est visible que les chiffres précédents sont des moyennes, quand les terres sont très perméables, les quantités d'eau à employer deviennent plus grandes.

En résumé, on peut admettre que dans le Midi de la France, l'arrosage habituel est représenté par un écoulement continu d'un litre par seconde et par hectare, ce qui correspond à 15,811 mètres cubes répartis pendant les six mois de la saison d'arrosage, à raison de 12 à 42 arrosages; cette quantité d'eau répartie sur la surface d'un hectare le couvrirait d'une couche de 1,581 millimètres d'épaisseur, bien supérieure ainsi qu'il a été dit à la hauteur moyenne de la pluie, ce qui montre à quel point l'évaporation déterminée par un soleil ardent est puissante.

Les eaux nécessaires à l'irrigation représentent donc trois fois la hauteur de pluie moyenne; si la Provence ou le Languedoc ne profitaient pas des eaux accumulées sur les Alpes ou les Pyrénées, la culture y serait impossible; mais heureusement la partie la plus méridionale de notre pays est aussi la plus montagneuse; elle trouve dans les hautes chaînes qui la bordent un puissant réservoir dont on est bien loin encore de tirer tout le parti possible; il suffit, en effet, de suivre en chemin de fer les rives du Rhône pour reconnaître que les travaux importants qui ont été exécutés pour assurer sa navigabilité l'ont été presque en pure perte, les bateaux y étant extrêmement rares; il est visible qu'au lieu de laisser les eaux de ce grand fleuve couler vers la mer sans être utilisées comme moyen de transport, il serait infiniment plus avantageux d'en distraire un volume

notable pour les employer aux irrigations : il est absolument fâcheux de sacrifier la production agricole à un transit difficile par eau et qui est largement assuré par les deux lignes de chemin de fer qui suivent les deux rives du fleuve.

On y a pensé dès longtemps, et les canaux du Rhône ont été étudiés déjà à diverses reprises : rien n'a été fait cependant (1).

L'Algérie n'est pas si bien partagée que la Provence ou le Languedoc ; les montagnes y sont moins élevées, elles sont en outre placées tout près du littoral et une partie des eaux qui en descendent se perd dans la mer sans profit ; aussi les arrosages ne fournissent-ils que des quantités variant entre 4,000 et 8,000 mètres cubes à l'hectare ; l'eau est trop rare pour qu'on puisse en employer de plus grandes quantités.

Eau employée à la submersion des vignes. — Depuis la mémorable découverte de M. Faucon, qui a montré qu'il est possible de lutter victorieusement contre le phylloxera en maintenant la vigne submergée pendant cinquante ou soixante jours, la méthode de la submersion des vignes s'est répandue et détermine une consommation d'eau considérable. On évalue d'une manière générale, la quantité d'eau nécessaire à la submersion, à un débit continu de 4 litres par seconde et par hectare pendant soixante jours, soit au total à 15,560 mètres cubes ; la plus grande partie de cette eau est employée au commencement de l'opération ; quand la submersion est obtenue, la dépense d'eau correspond seulement à la consommation que déterminent les infiltrations et l'évaporation. La submersion se faisant au premier printemps, avant le commencement des arrosages réguliers, n'entre pas en concurrence avec ceux-ci pour leur disputer l'eau qui leur est nécessaire.

§ 168. — Captation des eaux d'irrigation.

Les eaux d'irrigation proviennent :

1° Des cours d'eau et elles peuvent être amenées aux terres à irriguer :

a. Par des canaux.

b. Par des machines, quand le cours d'eau est voisin du champ à irriguer, ou encore quand on s'alimente à des nappes souterraines.

(1) M. Chambreland, membre de l'Institut, inspecteur général des ponts et chaussées, a tracé l'histoire des débats auxquels ont donné lieu ces projets, dans sa brochure : *les Canaux du Rhône.*

2° Des barrages, c'est-à-dire des retenues d'eau artificielles, qui se distinguent encore : en légers barrages des terres accidentées destinées à des arrosages restreints ; en grands barrages retenant des masses d'eau importantes et dans ce cas se présente le difficile problème des dévasements ; nous passerons successivement en revue ces différents modes d'emploi des eaux.

Irrigations par canaux. — On conçoit aisément que dans une contrée voisine des montagnes d'où descendent des eaux abondantes, ce qui est le cas pour la Provence et pour une partie de la région Pyrénéenne, on puisse en dérivant les eaux d'une rivière dans la partie supérieure de son cours, les conduire dans les parties basses du pays à un niveau tel qu'il suffise de pratiquer quelques dérivations au canal pour faire arriver les eaux dans toutes les terres à irriguer.

Ce procédé est celui qui est suivi depuis des siècles, il entraîne des travaux d'art importants, notamment la construction des aqueducs quand le canal doit franchir des vallées ; les Romains n'hésitaient pas à se livrer à ces grands travaux, soit pour assurer l'alimentation des villes, soit pour favoriser les cultures, et leurs aqueducs solidement construits ont souvent bravé l'effort des années ; en France, le pont du Gard, en Espagne dans nombre de points notamment aux environs de Merida, en Afrique aux portes de Tunis, les vestiges de grands aqueducs subsistent encore ; leurs longues lignes d'arcades se continuent aussi dans la campagne de Rome jusqu'aux collines qui enserrent la ville éternelle, ces puissants travaux évoquent les souvenirs de la grandeur passée et la profonde impression de tristesse que cause l'aspect des ruines s'accroît encore du morne silence qui règne sur cette immense plaine déserte.

Au moyen âge, pendant les guerres incessantes, les constructions destinées à la conduite des eaux furent presque partout abandonnées, et c'est seulement au seizième siècle, que l'illustre et infortuné Craponne a conçu le grand canal qui dessert encore une partie de la Provence.

Depuis cette époque de nombreux canaux ont été construits tant en France qu'en Italie et en Espagne. Malheureusement quand ces opérations ont été conduites par des compagnies, elles n'ont abouti souvent qu'à des désastres financiers.

« Deux causes d'ordre général peuvent expliquer ces échecs : l'absence de

crédit agricole ; et surtout une fausse appréciation des bénéfices que l'on peut retirer de l'irrigation.

« Le crédit agricole n'existe pas en France. Les entreprises d'irrigation qui ont besoin de contracter des emprunts se voient dans l'alternative ou de ne rien faire ou de recourir à des expédients ruineux.

« Il faut remarquer, d'un autre côté, que l'irrigation ne peut être une source de richesses que si l'emploi de l'eau mise à la disposition des agriculteurs ne nécessite pas pour eux une dépense exagérée. Le prix de vente de l'eau ne peut donc dépasser une certaine limite et cependant il doit être rémunérateur pour la Compagnie qui n'a pas d'autres ressources pour faire face à ses dépenses de premier établissement et d'entretien et assurer le paiement de ses intérêts.

« Les dépenses de premier établissement et d'entretien dépendent des conditions dans lesquelles a été construit le canal. En dehors des canaux de distribution proprement dits, il existe, dans presque tous les canaux d'irrigation ou de submersion, une branche mère ou canal principal qui relie la prise d'eau au réseau de distribution. Dans certains canaux, cette branche mère a atteint une longueur considérable et sa construction, par suite de la configuration du sol a nécessité de nombreux ouvrages d'art. Or la partie haute de cette branche, dite tête morte, ne dessert aucune des parcelles à irriguer. Le capital employé à son exécution, qui est souvent fort important, reste donc improductif. D'un autre côté, l'entretien annuel du canal principal accroît considérablement les charges du concessionnaire. On conçoit donc que la nécessité de donner à la branche mère une grande longueur, nécessité qui est imposée par la situation topographique de la région à desservir, puisse être une cause de ruine pour l'entreprise. »

Il importe par conséquent dans l'étude des canaux d'irrigation, d'apporter la plus grande attention aux conditions d'établissement de ces canaux, au point de vue économique. On ne s'est pas toujours rendu compte de cette nécessité et c'est ce qui explique les échecs que l'on a eu à subir et dont nous avons parlé plus haut (1).

Les travaux d'irrigation ne sont donc pas toujours, tant s'en faut, rémunérateurs pour les compagnies qui les entreprennent, comme d'autre part, ils sont indispensables à la prospérité agricole, où se trouve serré entre deux conditions contradictoires, dont on ne peut sortir sans l'intervention de l'État. Nous revenons plus loin sur ce sujet.

Prises d'eau dans les rivières voisines des terrains à irriguer. — Ces prises d'eau sont souvent très faciles, si la terre est en contrebas de la rivière, une simple vanne permet l'écoulement de l'eau, mais il n'en est généralement pas ainsi, et il faut habituellement élever les eaux à quelque hauteur au-dessus de leur niveau habituel, on y réussit à l'aide de diverses machines. En Asie, et en Afrique depuis un temps immémorial, on fait usage d'instru-

(1) *Irrigations dans les Bouches-du-Rhône en* 1875, Barral, rapporteur, Imp. nat., p. 502.

ments grossiers, qui plus tard ont fait place aux norias, encore usitées, surtout quand il s'agit d'élever les eaux puisées dans une nappe souterraine. Aujourd'hui les machines à vapeur sont souvent utilisées, on les emploie en Camargue, pour puiser dans le Rhône l'eau nécessaire à la submersion des vignes, ou à l'irrigation d'autres cultures (1).

On met souvent aussi à profit la force du vent, en se servant de moulins qui animent des pompes.

Irrigations à l'aide de barrages. — Lorsqu'un pays est dénudé, que les pluies y sont intermittentes, que les rivières longtemps à sec ont des crues violentes, les canaux d'arrosage ne peuvent être alimentés qu'à l'aide de barrages, qui ferment des bassins propres à retenir les eaux, à empêcher leur écoulement rapide sans profit pour l'agriculture.

Ces barrages sont tantôt établis dans les parties hautes du pays, et peuvent être alors nombreux et de médiocre importance; cette méthode a été employée autrefois, avec grand profit, en Tunisie, où les vestiges de ces travaux sont restés très visibles; ces barrages très simples exécutés soit en maçonnerie, soit même en clayonnage et en terre, ne retiennent que de faibles quantités d'eau, mais comme on peut les multiplier, ils finissent par rendre des services d'autant plus importants, qu'ils n'exigent que de très faibles dépenses et peuvent être entrepris par les cultivateurs mêmes qui veulent utiliser les eaux. J'ai eu occasion de voir en 1881, à quelque distance d'Oran dans le domaine des Andalouses un ravin à peine large d'une centaine de mètres transformé en une série de terrasses bien arrosées, où des Espagnols avaient établi une luxuriante culture maraîchère; au moment de mon passage le sol était couvert de tomates et de piments, qui devaient être plus tard remplacés par d'autres cultures assez rémunératrices pour faire vivre trois familles nombreuses (2).

(1) *Ann. agr.*, t. XVII, p. 242.

(2) Le mode d'exploitation est curieux: on a loué aux trois familles espagnoles la jouissance du ravin et de l'eau qui y coule, moyennant 500 fr.; bien que les Espagnols puissent prendre tout ce qu'ils veulent de terre, il ne m'a pas paru qu'il y eût un hectare de terre employé; ils augmentent au reste tous les ans l'étendue de leur culture et leur procédé de défrichement est intéressant. Ils afferment pour une année à des Marocains les terres que ceux-ci peuvent défricher, aussitôt que les broussailles, les palmiers nains ont disparu, les Marocains sèment des melons, des pastèques, c'est le produit de cette culture qui réussit toujours quand l'eau est abondante, qui constitue leur rémunération; l'année suivante, le fermier espagnol reprend la jouissance du sol défriché et indique à son collaborateur africain une autre surface que celui-ci défriche encore pour y faire sa culture annuelle.

Quand les terres sont en plaine, les grands barrages deviennent nécessaires; depuis l'occupation française on a établi en Algérie, dans la province d'Alger, ceux de l'Oued Sly, de l'Hamis, et du Cheliff, ce dernier destiné à l'arrosage du territoire d'Orléansville et qui permet d'irriguer dix mille hectares environ présente une hauteur de 12 mètres et une longueur de 85 mètres. Dans la province d'Oran se trouve le grand barrage de l'Habra, qui emporté par une crue extraordinaire le 14 décembre 1881 est aujourd'hui reconstruit; il sert à l'arrosage de 24,000 hectares.

Les eaux que reçoivent les bassins de retenue sont très souvent torrentueuses, elles entraînent de grandes quantités de limons, aussi la capacité utile des réservoirs diminue-t-elle rapidement, par l'envasement.

Le réservoir de Saint-Denis du Sig dont la capacité est de 3 millions 500,000 mètres cubes renfermait 70,000 mètres cubes de vase en 1879, le réservoir de l'Habra qui a une capacité de 30 millions de mètres cubes s'envase chaque année de 1 million de mètres cubes, aussi est-il nécessaire de procéder à des *dévasements*. Après bien des essais infructueux la direction de l'hydraulique agricole s'est arrêtée récemment à l'emploi d'un appareil construit par M. Jaudin, de Lyon, qui paraît pouvoir conduire à de bons résultats (1).

§ 169. — Distribution des eaux.

Les canaux d'irrigation par lesquels l'eau empruntée aux rivières est amenée sur les terrains à arroser, se subdivisent en branches secondaires destinées à desservir chacune une certaine partie du périmètre arrosable. Ces branches secondaires alimentent à leur tour une série de rigoles de distribution qui amènent les eaux en tête des propriétés à irriguer. Ces eaux sont ensuite utilisées par les propriétaires selon les besoins de leur culture.

On conçoit que l'alimentation de ces rigoles de distribution, c'est-à-dire la livraison aux intéressés des eaux auxquelles ils ont souscrit, doive se faire d'une façon méthodique. Il suffit, en effet, de deux ou trois arrosages manqués pendant les fortes chaleurs, pour compromettre une coupe de foin ou une récolte de légumes et la perte est alors considérable.

(1) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 321.

Il est donc indispensable de régler avec la plus grande précision la quantité d'eau à introduire dans chaque rigole, en calculant le temps que l'eau doit employer pour circuler d'une prise à la suivante ; de fixer exactement l'ordre dans lequel l'eau sera livrée à chaque propriétaire ; enfin d'assurer par une surveillance active la répression des abus et des fraudes.

Nous avons vu que la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation des diverses cultures correspondait à un débit continu variant entre 4 centilitres et $2^{lit},5$ par seconde et par hectare, et ayant pour valeur moyenne 1 litre par seconde et par hectare.

On ne peut songer à distribuer des quantités d'eau aussi faibles; elles s'écouleraient très difficilement dans les rigoles et disparaîtraient presque complètement soit par évaporation, soit par imbibition. En admettant même qu'elles parviennent au lieu d'emploi, on ne pourrait les utiliser avantageusement sur une superficie d'un hectare. Il est donc nécessaire de les remplacer par des volumes équivalents fournis par des débits plus considérables et de durées moins longues, qui sont amenés sur la propriété à des intervalles périodiques pendant la saison des arrosages. Dans le Midi de la France, la pratique a montré que le volume à fournir à intervalles périodiques devait osciller entre 30 et 40 litres par seconde et par hectare. Ce volume est mis à la disposition des usagers pendant un temps trente ou quarante fois plus court que celui qui correspondrait à un débit continu de 1 litre par seconde et par hectare. Si par exemple, la périodicité des arrosages est de sept jours et si le volume à fournir à chaque arrosage est de 30 litres par seconde et par hectare, chaque arrosage devra durer $\frac{7 \text{ jours}}{30}$ soit cinq heures trente-six minutes.

Il est à noter d'ailleurs que, dans les canaux du Midi, la quantité d'eau mise à la disposition d'un usager correspond toujours à un débit constant par seconde, quelle que soit l'étendue de sa propriété. La durée seule de l'arrosage varie.

Si, par exemple, on emploie pour l'irrigation d'un hectare, tous les sept jours, un débit de 30 litres par seconde pendant cinq heures trente-six minutes, on mettra à la disposition d'un usager, tous les sept jours, pour arroser un terrain de 3 hectares, un débit de 30 litres par seconde pendant seize heures quarante-huit minutes.

§ 170. — Emploi de l'eau par les intéressés.

Nous avons vu, dans le paragraphe qui précède, comment l'eau empruntée directement aux rivières ou transportée par les canaux d'irrigation était amenée en tête des propriétés à desservir. Il nous reste maintenant à indiquer comment cette eau est utilisée par les usagers, comment elle est répandue sur les propriétés à arroser.

Une description détaillée des procédés employés pour utiliser l'eau demanderait de longs développements qui dépasseraient notablement le cadre de ce chapitre. Nous nous contenterons donc de faire connaître très succinctement chacun des procédés, en nous bornant à des indications générales.

Les méthodes d'arrosage principales sont au nombre de quatre :

La méthode dite des ados ;

La méthode dite par déversement ;

La méthode dite par infiltration ;

La méthode dite par submersion.

Cette dernière peut être appliquée à la culture des céréales et du riz, mais elle a surtout été appliquée depuis quinze ans dans le Midi de la France à la protection des vignes contre le phylloxera et, de ce chef, elle a acquis une importance considérable.

Les trois premières méthodes d'arrosage sont dominées par un principe commun qui peut se formuler ainsi :

L'eau doit arriver partout ; elle ne doit séjourner nulle part.

Toute méthode d'irrigation suppose donc l'emploi de canaux de distribution amenant l'eau sur le terrain à arroser, et aussi de canaux de colature enlevant l'eau en excès de manière qu'elle ne séjourne pas sur les parties basses de ce terrain.

Méthode des ados. — La méthode des ados est appliquée à peu près exclusivement à la création des prairies. Elle est employée dans le cas de terrains peu inclinés, situés dans un climat tempéré. Elle constitue un bon mode d'usage de l'eau, mais son application exige beaucoup de soin et d'habileté à cause des travaux de terrassements qu'elle entraîne.

Le terrain est disposé en une série de planches rectangulaires ayant exactement la forme d'un toit aplati. Aux sommets de ces toits *ab*, *a'b'*, sont tracées des rigoles de distribution qui s'embranchent sur la rigole alimentaire AB. A la base, et séparant

deux planches consécutives, sont construites des rigoles de colature cd, $c'd'$ qui viennent déboucher dans un canal d'évacuation générale CD. Les flancs M, M' des planches portent le nom d'ailes.

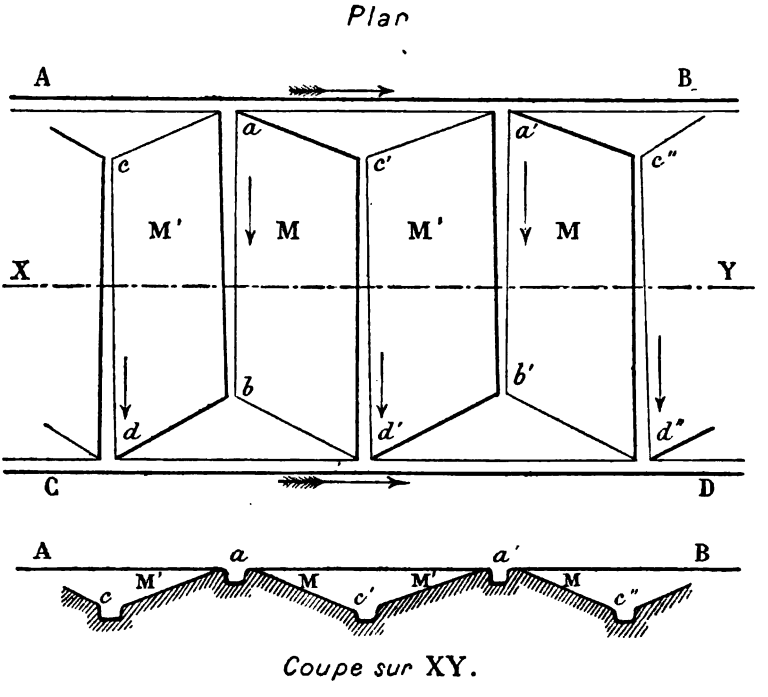


Fig. 51. — Irrigations par ados.

L'eau amenée dans les rigoles ab, $a'b'$ se déverse sur les ailes, et le trop-plein est recueilli par les rigoles de colature cd, $c'd'$.

Il est nécessaire de donner aux rigoles $a'b'$ des dimensions décroissantes de l'amont vers l'aval. Au contraire, les rigoles $c'd'$ doivent avoir des dimensions croissantes de l'amont vers l'aval.

Les planches sont disposées soit dans le sens de la pente, soit dans le sens des horizontales du terrain.

La longueur des ados est variable. Elle est souvent limitée par la disposition du terrain, de façon à éviter de trop forts terrassements. En tout cas, la conduite et le bon épandage de l'eau exigent que cette longueur ne dépasse pas 35 à 40 mètres.

La longueur à donner à chacune des ailes doit être sensiblement multiple de la largeur de l'andain, c'est-à-dire de ce que l'on peut faucher d'un coup de faux. Cette dernière largeur oscille entre

$1^m,80$ et 2 mètres. La largeur des ailes varie en conséquence entre 2 et 10 mètres. On donne aux ailes, en général, une pente transversale de 5 centimètres par mètre.

La largeur des rigoles d'alimentation varie entre 15 et 30 centimètres à l'amont, et n'est plus que de 6 à 10 centimètres à l'aval. Leur profondeur oscille entre 5 et 10 centimètres. On leur donne, en général, une pente longitudinale d'environ 1 centimètre par mètre.

Les largeurs données aux rigoles de colature sont les mêmes que celles données aux rigoles alimentaires, mais en sens inverse, de manière que la plus petite largeur corresponde à la partie amont. La profondeur de ces rigoles varie entre 10 centimètres à l'amont et 25 centimères à l'aval. Leur pente longitudinale ne dépasse pas 3 millimètres par mètre.

Méthode par déversement. — La méthode dite par déversement est applicable à l'irrigation des prairies et à celle des terres labourables. Elle consiste à amener l'eau dans une série de rigoles tracées sensiblement suivant les horizontales du terrain, et fermées à leur extrémité aval. L'eau ne trouvant pas d'issue déborde, et arrose le terrain situé entre la rigole et la rigole immédiatement inférieure.

En pratique, l'eau amenée par la rigole MN alimente une série de rigoles AC, BD tracées sensiblement suivant les lignes de plus grandes pentes du terrain. Sur ces rigoles s'embranchent une série de rigoles *a a*, *b b*, *c c*, établies à peu près suivant les horizontales de niveau.

Le terrain s'irrigue par bandes comprises entre deux rigoles, telles que AC et BD, consécutives.

Pour irriguer la bande *A B C D* par exemple, on barre d'abord la rigole *A B* un peu au-dessous du point *A* ; l'eau se répand dans la rigole *AC*. On a fermé auparavant toutes les rigoles horizontales qui s'embranchent à gauche de *A C*, et aussi les rigoles aa_1, bb_1, cc_1... aux points *a'*, *b'*, *c'*,... de manière à limiter l'irrigation sur la droite. L'eau pénètre bientôt dans chacune de ces rigoles horizontales *aa'*, *bb'*, *cc'*,... déborde sur toute leur longueur et s'étale en couche mince sur le terrain. Le surplus des eaux est recueilli par la rigole *O P*.

On alimente ensuite au moyen de *D B* les parties de rigoles $a'a_1$, $b'b_1$, $c'c_1$..., situées à gauche de *D B* et ainsi de suite.

Cette méthode est applicable aux terrains à forte pente, atteignant jusqu'à $0^m,05$ par mètre.

Il est préférable de tracer les rigoles distributrices *A C*, *A B*,... suivant les lignes de plus grande pente du terrain, et les rigoles d'arrosage aa_1, bb_1, c_1c... suivant les lignes de niveau; mais ce système exige des nivellements de précision. Aussi se contente-t-on souvent de tracer ces rigoles approximativement suivant les directions que nous venons d'indiquer.

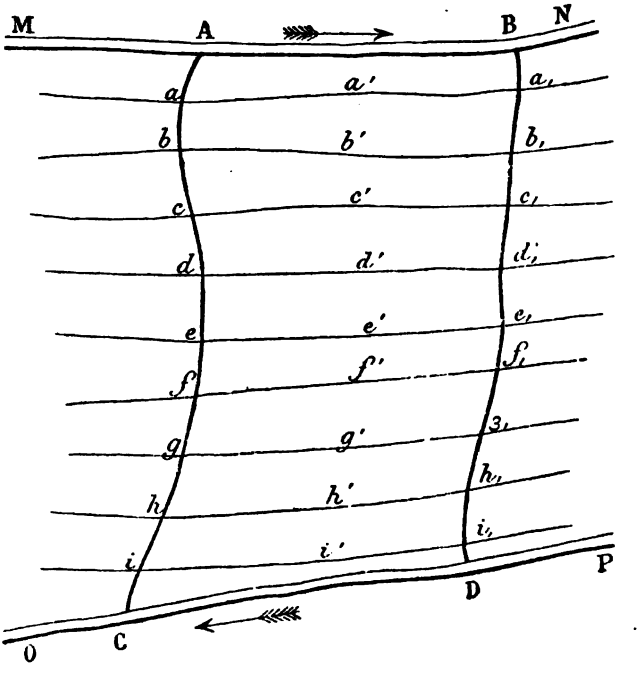


Fig. 52. — Irrigations par déversement.

L'écartement des rigoles horizontales est variable selon que le terrain est plus ou moins fortement incliné ou plus ou moins perméable. On peut dire toutefois, d'une manière générale, qu'elle oscille en 5 et 25 mètres. Quant à leur longueur, elle varie entre 20 et 25 mètres.

Leur longueur et leur profondeur décroissent de l'amont à l'aval. A l'embranchement sur la rigole distributrice, la largeur est d'environ $0^m,18$; elle tombe à $0^m,05$ à l'extrémité. Au premier point, la profondeur est $0^m,15$ à $0^m,20$; elle n'est plus que de $0^m,08$ à $0^m,10$ au second.

La pente de ces rigoles ne dépasse pas $0^m,005$ par mètre.

Méthode par infiltration. — La méthode d'irrigation par infiltra-

tion, appelée encore arrosage à la raie, est employée pour l'arrosage des jardins, des céréales et des plantes industrielles, et pour la culture maraîchère.

On l'emploie également lorsqu'il s'agit d'utiliser les eaux plombantes impures telles que les eaux d'égout.

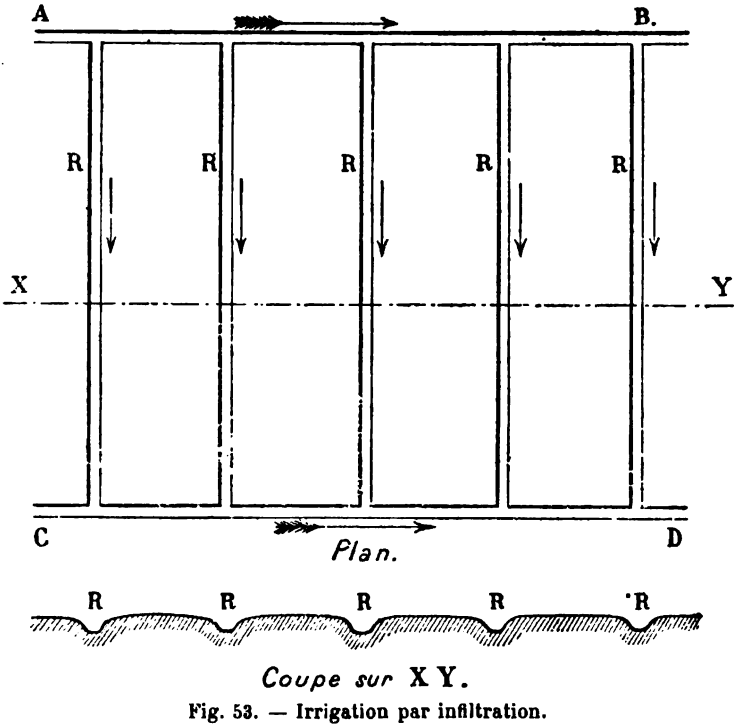


Fig. 53. — Irrigation par infiltration.

L'eau amenée par la rigole *A B* se répand dans une série de sillons parallèles *R,R*. L'eau contenue dans ces sillons s'infiltre peu à peu dans le sol et pénètre ainsi jusqu'aux racines des plantes. Les raies *R* sont espacées de 2 à 4 mètres suivant les cas.

Elles s'exécutent soit à la bèche, soit à la charrue.

Méthode par submersion. — La méthode par submersion consiste à faire séjourner l'eau sur les terrains à irriguer, pendant un temps plus ou moins long. Elle est applicable aux cultures diverses, à celles des céréales et du riz. Elle a été également employée, mais rarement toutefois, à l'arrosage des prairies.

La submersion a acquis récemment une grande importance, comme moyen de préservation de la vigne contre le phylloxéra.

Appliquée à l'arrosage, la submersion ne peut être employée que

sur des terrains plats. On entoure de toutes parts le terrain à arroser par de petits bourrelets en terre.

L'eau maintenue par ces digues s'étend sur le terrain et le recouvre d'une couche plus ou moins épaisse.

Quand on juge que la submersion a duré un temps suffisant, on met le terrain en communication avec une rigole de colature qui reçoit l'excès d'eau.

Ce procédé, employé pour combattre le phylloxera dans le Midi de la France, a été appliqué en grand dans les départements de l'Aude et de l'Hérault, et on lui doit la préservation de plusieurs des importants vignobles qui forment la principale source de richesse de ces deux départements.

Il consiste à maintenir les vignes sous l'eau pendant une période continue de quarante-deux jours environ.

Cette durée indispensable dans les terres fortes, argileuses et peu perméables, peut être réduite à trente jours dans les terrains perméables.

La submersion doit être d'ailleurs abandonnée dans les terrains tout à fait perméables, car elle appauvrit le sol, et tue même quelquefois la vigne. En tous cas, elle exigerait dans ces terrains de trop grandes quantités d'eau.

La submersion ne peut être pratiquée que sur des terrains à faible pente.

La mise en eau commence ordinairement le 15 octobre et peut durer sans inconvénients jusqu'au 15 avril. La hauteur de l'eau au-dessus du sol doit être d'environ $0^m,40$, de manière qu'elle affleure sensiblement le collet des souches. Il existe cependant des exemples de vignes maintenues complètement submergées sous un mètre d'eau pendant cinq mois d'hiver, sans qu'il en soit résulté aucune suite fâcheuse.

Les bassins de retenues habituellement formés de bourrelets en terre, sont quelquefois exécutés en maçonnerie. On leur donne $0^m,50$ de largeur au moins en couronne, quand ils sont construits en terre, et une hauteur telle que leur couronnement soit à $0^m,30$ au-dessus du plan d'eau normal du bassin. Ils sont défendus, à la hauteur de la ligne d'eau, contre le batillage par des gazonnements, des plantations de roseaux, et quelquefois même par un revêtement en béton.

Il n'est pas possible de fixer, d'une manière précise, la surface à donner aux carrés de submersion.

Les facilités de la culture, et la nécessité d'immobiliser le moins de terrain possible, conduisent à admettre des carrés de grandes dimensions. D'un autre côté, les grands carrés nécessitent, surtout lorsque la pente du sol est sensible, de fortes digues qu'il faut exécuter en maçonnerie, ce qui en élève le prix. D'ailleurs, dans ces grands bassins, la moindre rupture de digue entraîne toujours de grands inconvénients.

Aussi, dans la pratique, on ne descend pas au-dessous de 2 ares pour la superficie des carrés, et cette superficie ne dépasse jamais 15 hectares.

L'orientation des carrés est déterminée par la double condition de gêner la culture le moins possible, et d'éviter l'effet du batillage sur les bourrelets. Les bourrelets doivent donc, autant que faire se peut, être parallèles aux rangées de souches, et avoir une direction inclinée sur celle des vents dominants.

Chaque carré de submersion est muni d'un ou de plusieurs déversoirs en maçonnerie dont la crête est dérasée à $0^m,30$ au moins en contre-bas de celle des digues. Ces déversoirs sont destinés à assurer l'écoulement du trop-plein des eaux et à empêcher que les bourrelets ne soient surmontés. Des poutrelles permettent de régler à volonté le niveau de la crête déversante.

L'alimentation des carrés se fait en amenant les eaux dans la partie la plus élevée du terrain, soit au moyen d'une prise directe dans le canal de submersion, ou dans une des rigoles qui en sont dérivées, soit au moyen des eaux en excès, provenant des carrés de la propriété voisine.

On commence par ouvrir les prises à plein débit de manière à remplir les carrés, puis quand le remplissage est effectué, on règle le débit des prises de manière à ne laisser passer que la quantité d'eau nécessaire pour maintenir les eaux au niveau voulu.

§ 171. — Plus-values réalisées par l'emploi des arrosages.

On peut admettre d'une façon générale que l'irrigation procurera en moyenne un accroissement de revenu net d'au moins 200 francs par hectare, déduction faite de toutes les charges résultant de l'arrosage.

La plus-value foncière qu'acquiert une terre soumise à l'irrigation peut en conséquence être évaluée à environ 4,000 francs par hec-

tare. Elle peut même atteindre un chiffre plus élevé pour les terres de mauvaise qualité.

Le colmatage pratiqué avec les eaux troubles des crues peut, après l'achèvement de l'opération, procurer une plus-value de 2,000 francs au moins par hectare. Cette plus-value est même de beaucoup supérieure à cette somme, lorsque après le colmatage on peut arroser régulièrement la terre.

Dans la région du Midi, les vignes de plaine qui peuvent par la submersion être protégées contre les attaques du phylloxera, produisent en moyenne 60 hectolitres de vin ordinaire à l'hectare, représentant un revenu brut de 900 francs au moins et un revenu net d'environ 600 francs.

Lorsque, faute de canaux pour la submersion, la vigne est détruite, la terre ne donne plus que de faibles produits. La préservation des vignes par le procédé de la submersion correspond donc à un accroissement de revenu d'au moins 500 francs par hectare. Il ne faut pas perdre de vue, d'ailleurs, que chaque hectolitre de vin mis dans la circulation procure à l'État par les impôts divers qu'il perçoit, un revenu net d'environ 5 francs. En tenant compte de la consommation locale non soumise aux impôts, chaque hectare de vigne rapporte donc à l'État un revenu net annuel d'environ 250 francs. La submersion lui assure la perception de ce revenu.

Dans l'Aude et l'Hérault, la superficie des vignobles sauvés par la submersion ne s'élève pas à moins de 6,000 hectares. L'emploi des procédés de submersion, dans ces deux départements, a donc conservé à la production territoriale un revenu net annuel de plus de 3 millions de francs, et à l'État, une recette annuelle de plus de 1,500,000 francs.

On peut dire d'ailleurs que ce résultat a été acquis sans grever le Trésor, car bien que les canaux de l'Aude et de l'Hérault aient été exécutés par l'État, les arrosants paient à l'administration des contributions indirectes une redevance de 35 francs par litre d'eau employé, qui représente 4.90 p. 100 des dépenses faites.

Dans le département de Vaucluse et dans celui des Bouches-du-Rhône, les terres irriguées sont consacrées à la prairie, à la luzerne, à la culture maraîchère, enfin on emploie ainsi qu'il a été dit de grandes quantités d'eau à la submersion des vignes.

On n'obtient de grands rendements qu'à la condition de joindre à

l'emploi de l'eau la distribution d'abondantes fumures : Barral, rapporteur du jury des concours établis en Vaucluse et dans les Bouches-du-Rhône en 1875 et 1876, cite, pour les prairies de Vaucluse, les rendements suivants :

5 fois.....	15.000	kilogr. de foin à l'hectare.
10 —	13.000	—
5 —	12 à 11.000	—
3 —	10.000	—

Dans toutes ces cultures, les fumures sont annuelles et abondantes, il n'y a pas d'exemple de pré créé sans emploi immédiat d'engrais. Quand on ne donne que des fumures insuffisantes l'irrigation ne fournit plus que des rendements de 9, 8 et même 7,000 kilos de foin à l'hectare.

Pour les luzernières, on a constaté :

8 fois.....	De 15	à 18.000	kilogr. de foin à l'hectare.
8 —	14	à 12.000	—
4 —	11	à 10.000	—
5 —	9.5	à 7.000	—

Le rendement moyen est de 12,100 kilogrammes de foin : en évaluant le prix du foin de pré ou de luzerne à 60 francs la tonne, on voit que le produit brut dépasserait 700 francs par hectare.

Le produit des cultures maraîchères est beaucoup plus élevé, il dépasse très souvent 2,000 francs. Une des entreprises les plus rémunératrices est la production des graines de fleurs particulièrement prospères à Saint-Rémy de Provence, petite ville où tout respire l'aisance et le contentement ; en Vaucluse, la commune de Cavaillon est également célèbre par ses cultures maraîchères ; la production des fruits de primeur est particulièrement avantageuse ; on peut dire qu'en Provence le sol est métamorphosé par les irrigations ; les prairies verdoyantes, les pommiers lui donnent un aspect qui rappelle celui de la Normandie, et qui surprend d'autant plus qu'à quelques pas on retrouve dans les parties non arrosées, les maigres bois de pins et les oliviers rabougris et poudreux qui couvrent par places les coteaux arides, dénudés, brûlés par le soleil.

Dans les départements qui bordent les Pyrénées, les prairies des montagnes sont arrosées à l'aide de petits barrages, mais dans la grande plaine qui s'étend jusqu'à la mer, quelques canaux d'irrigation importants ont été construits ; le plus important est celui de

Saint-Martory (1), il est destiné à l'irrigation de 10,000 hectares; en 1887, les eaux arrivaient sur un peu plus de 2,000 hectares. On estime que toute dépense payée, amortissement compris, la plus-value annuelle due aux irrigations dépasse 100 francs par hectare, pour les cultures de prairie; elle ne pourra qu'augmenter quand les cultivateurs apporteront plus de soins au choix des espèces à semer.

M. Dybowski (2), ancien maître de conférences à l'école de Grignon, engagé au moment où j'écris (1891) dans l'exploration des parties septentrionales du Congo français, a étudié il y a quelques années les oasis de la province de Constantine et notamment ceux de l'Oued Rir; il estime en moyenne le rendement d'un palmier arrosé à 3 fr. 50 par année et par arbre; on peut compter 200 dattiers par hectare, on aurait donc rien que pour les dattes 700 francs de revenu brut à l'hectare, et comme la terre peut porter sous les dattiers des cultures maraîchères et arbustives variées, le revenu brut s'élève facilement à 1,000 francs par hectare; la main-d'œuvre ne fait pas et surtout ne fera pas défaut, à mesure que les travailleurs nègres prendront l'habitude de venir dans ces régions dont ils peuvent seuls supporter les températures estivales (3).

§ 172. — Irrigations dans les régions septentrionales.

Bien que les irrigations n'aient plus dans les régions septentrionales l'intérêt qu'elles présentent dans le Midi, où elles sont la condition même de la réussite, elles sont pratiquées cependant dans certaines contrées avec grand succès.

Irrigations dans les Vosges. — Dans les parties hautes de ce département la pluie est fréquente et abondante, elle s'élève annuellement à 1 mètre et même à $1^{m},70$; les sources sont donc nombreuses et sur les terrains perméables les prairies peuvent recevoir des quantités d'eau énormes, on peut dire que dans les Vosges, les prairies sont constamment arrosées, excepté pendant les fortes gelées de l'hiver.

(1) *Association française pour l'avancement des sciences*, Congrès de Toulouse, 2e partie, p. 905. — Communication de M. Fontès.

(2) *Ann. agr.*, t. XV, p. 433.

(3) Nous avons déjà trouvé, en 1891, de très nombreux travailleurs nègres en Tunisie, ils viennent du Fezzan, en suivant la vallée du Nil, puis la côte de la Tripolitaine; dans le beau domaine de M. Potin près d'Hammam-Lif, tout le long de la route de Tunis à Sousse, encore en construction, les nègres étaient à la besogne; on se loue beaucoup de leurs services.

Le système suivi est tout à fait différent de celui qui est pratiqué dans le Midi, l'eau d'arrosage est chargée d'apporter aux plantes les matières alimentaires qu'elles consomment, on n'emploie pas d'engrais. L'épandage de ces grandes quantités d'eau exige des surfaces parfaitement planes ; l'irrigation par planche en ados est rarement usitée, on établit dans les vallées des rigoles à faible pente, d'assez forte dimension et parallèles entre elles. L'intervalle entre ces rigoles principales s'arrose par des émissaires en épis partant de la rigole principale et émettant des branches latérales qui déversent l'eau sur tous les points de la prairie.

Jamais les animaux ne sont tolérés dans les prairies irriguées. On est très jaloux de conserver des surfaces parfaitement unies et des rigoles de distribution en bon état de fonctionnement, qui seraient partiellement détruits par le piétinement des animaux.

On constate souvent dans les Vosges des rendements en foin s'élevant à 7,500 kilogrammes de foin par hectare, mais souvent aussi les rendements sont plus faibles et il est probable que si on ajoutait aux eaux d'arrosage des fumures de nitrate de soude et de superphosphates, l'augmentation de rendement couvrirait largement la dépense (1).

§ 173. — Irrigations dans la France centrale.

Au nord de la Loire, les irrigations ne sont pratiquées que dans les vallées, où l'eau est abondante, où les travaux d'amenée sont peu dispendieux ; les quantités d'eau employées sont souvent excessives et les prés couverts de lèches, de joncs, des mauvaises graminées des terrains marécageux. J'ai eu occasion de voir dans la vallée de l'Avre (Eure) des prairies récemment achetées par la Ville de Paris, irriguées avec une extrême abondance et ne fournissant qu'un foin de mauvaise qualité, l'écoulement des eaux d'irrigation n'étant pas assuré.

C'est également ce qu'on observe en Limousin : l'irrigation est très bien entendue, mais l'assainissement laisse encore à désirer. Les irrigations se font surtout en février, mars et avril, et sont continuées toutes les fois qu'on le peut, après l'enlèvement des foins ; l'eau dans la plupart des cas provient de sources, elle

(1) Hervé Mangon a consacré à l'étude des prairies des Vosges un mémoire important intitulé : *Expériences sur l'emploi des eaux dans des irrigations sous différents climats.* Dunod, 1863. — Voyez aussi Chevandier et Salvétat, *Ann. de chim. et de phys.*, tome XXXIV, 3e série, et un mémoire de Boitel, *Ann. agron.*, tome VII, p. 32.

est recueillie dans un réservoir improprement appelé pêcherie que l'on peut vider à volonté. Des rigoles peu profondes à faible pente, suivant toutes les ondulations du terrain, répartissent l'eau s'échappant du réservoir sur tous les points du pré qu'elle humecte et par infiltration et par déversement. C'est à l'aide d'une simple motte de gazon posée au travers de la rigole et déplacée à volonté qu'on dirige les eaux sur les différentes parties et qu'on provoque le déversement; dans les parties hautes des prairies très ondulées, nombreuses dans la Haute-Vienne, l'assainissement est assuré, mais il n'en est plus de même dans les fonds, on y laisse souvent séjourner les eaux, aussi les joncs et les carex s'emparent du sol et font disparaître les bonnes plantes de la prairie.

Les irrigations des prairies dans les parties hautes du Puy-de-Dôme sont conduites d'une façon analogue, les eaux sont abondantes, l'écoulement facile et le foin de bonne qualité.

Dans la vallée de la Saône, l'irrigation habilement conduite a quintuplé la valeur du sol, elle l'a décuplée dans certaines landes de Bretagne. En Sologne les prairies non arrosées donnent de 1,600 à 2,000 kilogrammes de foin par hectare; avec l'irrigation leur rendement s'élève de 5,000 à 8,000 kilogrammes. L'assainissement des parties marécageuses par des fossés d'écoulement conduisant les eaux dans des étangs a permis parfois dans cette contrée des irrigations particulièrement avantageuses, quand l'eau est chargée de chaux qu'on place dans les rigoles d'écoulement où elle est entraînée peu à peu (1).

§ 174. — Irrigations a l'étranger.

Italie. *Marcites.* — L'Italie septentrionale, bordée au Nord par la haute chaîne des Alpes dont les eaux descendent dans la vallée du Pô par une multitude de cours d'eau, est un des pays du monde où l'irrigation est le mieux entendue. Les premiers canaux d'irrigation dérivés du Tessin et de l'Adda remontent aux douzième et treizième siècles.

Les irrigations s'étendent en Piémont sur 15,20 p. 100 de la surface totale; la province de Novare la mieux partagée a 28,78 p. 100 de son territoire soumis à l'irrigation, c'est aussi la pro-

(1) L'irrigation de la Sologne n'est pas impossible : de Fourcy, ingénieur des mines, qui a levé la carte géologique du Loiret, pense qu'en utilisant d'une part les grands cours d'eau qui la traversent, de l'autre les ruisseaux, on pourrait l'établir sur un grand nombre de points. (*Études sur la Sologne*, par M. Masure, Orléans, 1870.)

portion pour la Lombardie. L'irrigation a lieu souvent par ados (voyez page 568), au moins c'est ainsi que je l'ai vu pratiquer aux portes de Milan dans une ferme dont la terre se louait 500 francs l'hectare ; là, la production du foin était la principale spéculation, il servait à l'alimentation de nombreuses vaches laitières, dont le lait est employé à la fabrication du fromage de Parmesan.

Quand on ne dispose que de l'eau des canaux, on l'emploie à l'arrosage des prairies temporaires qui sont maintenues quatre années, puis remplacées par des cultures de lin, de maïs ou de blé ; quand au contraire on peut utiliser les eaux souterraines des *fontanelles*, dont la température pendant l'hiver reste assez élevée, on établit des marcites qui forment la culture caractéristique de la vallée du Pô ; elle s'étend dans le Milanais sur environ 5,000 hectares.

« La marcite n'est autre chose que de la prairie en serre chaude, le but à atteindre et le principe sont absolument les mêmes, les voies et les moyens seuls sont changés. On veut obtenir la végétation de la prairie pendant l'hiver, mais au lieu d'employer du verre et du combustible on se sert d'un voile d'eau qui interposé entre la terre et l'air empêche le refroidissement de celle-ci, on fait courir l'eau constamment sur la surface de l'herbe, par suite la consommation est énorme, elle est estimée à 3,600 mètres cubes par jour pour un hectare (1). »

Le sol de la marcite est disposé en une série de larges billons, au sommet du biseau est creusée la rigole de déversement, elle envoie son eau sur les deux ailes qui présentent habituellement une largeur de 7 mètres avec une pente de $0^m,20$ à $0^m,30$ pour les 7 mètres ; la longueur des ailes varie de 20 à 50 mètres.

Tous les ados sont parallèles et un canal d'amenée perpendiculaire aux rigoles culminantes les alimente toutes. Les rigoles colatrices débouchent ordinairement dans un fossé colateur parallèle au canal d'arrivée et qui devient à son tour canal d'arrivée pour un système d'ados situé en aval du précédent.

Les marcites sont fumées deux fois par an ; chaque fumure est de vingt à vingt-cinq tonnes de fumier d'étable que l'on mélange avec de la terre six mois à l'avance de façon que la matière soit à l'état pulvérulent. Les rendements des marcites sont en moyenne de 70,500 kilos de foin vert par hectare et par an correspondants à 16,000 kilos de foin sec, les rendements temporaires donnent en moyenne 7,700 kilos de foin et les prairies permanentes arrosées 6,700 kilos seulement. Les irrigations ont fait la fortune de la vallée du Pô, on peut estimer qu'elles donnent à chaque hectare une plus-value de 2,500 francs, pour les 1,260,000 hectares irrigués, ce serait une plus-value totale de 3,150,000 francs.

Espagne. — En Espagne l'inégale répartition des pluies, très

(1) *Les irrigations dans la vallée du Pô*, par M. H.-A. Hérisson (*Annales de l'Institut agronomique*).

rares en été, l'énorme disproportion entre la couche d'eau pluviale et l'évaporation commandent impérieusement l'irrigation et lui assignent une valeur inappréciable reconnue depuis longtemps, car travaux importants remontent aux Romains, ont été entretenus et développés par les Maures et continués de nos jours. Près d'Alicante, on admire dans les montagnes de Tibi un immense réservoir, dont le barrage n'a pas moins de 110 mètres de largeur et une hauteur de 66 mètres.

Dans le royaume de Valence, le lit de la Turia ne renferme plus d'eau à son embouchure, il ne sert plus que dans le cas des crues ou des inondations; les eaux ont été absolument utilisées pour les irrigations; grâce à elles et à de copieuses fumures les rendements sont excessifs. Barral (1) assure avoir vu en novembre une luzerne ayant fourni 22 coupes en une année avec un produit de 22 000 kilogrammes de foin sec à l'hectare. La fertilité de la Huerta de Valence est en effet proverbiale.

Dans les environs de Saragosse où les luzernières sont nombreuses, on donne en moyenne 31 arrosages par an, à raison de 1000 mètres cubes par hectare pour chaque arrosage, la surface reçoit donc une hauteur d'eau de 3 mètres environ; on obtient sur des luzernes qui durent de huit à dix ans six coupes; la première fournit environ 2,200 kilogrammes, chacune des quatre suivantes 3,000 kilogrammes de fourrage sec et la dernière équivaut à peu près à la première; le rendement moyen est compris entre 15 et 16,000 kilogrammes à l'hectare (2).

§ 175. — Résumé. — Développement des entreprises d'irrigations.

Pour toute la région méridionale de notre pays, pour l'Algérie, la Tunisie, l'irrigation est la condition même des succès de la culture; partout où l'eau arrive, la végétation devient luxuriante; il est donc manifeste que rien ne serait plus profitable aux intérêts agricoles que l'entreprise sur une large échelle de grands travaux d'irrigation.

Comment ne sont-ils pas encore décidés, comment se fait-il qu'on ait dépensé des sommes énormes à l'installation de lignes de chemins de fer de plus en plus nombreuses, au creusement de bassins dans des ports médiocrement fréquentés, et qu'on n'ait pas

(1) *Association française*, congrès de Montpellier, 1879, p. 118.
(2) *Id.*, Congrès de Toulouse, communication de M. Llaurado, p. 889.

encore donné à cette partie de l'*outillage national* tout le développement qu'elle comporte, que notamment les canaux dérivés du Rhône discutés depuis cinquante ans, étudiés par des projets nombreux, n'aient jamais été exécutés? La raison m'en paraît être, que la question est mal posée.

Les compagnies qui se sont fondées pour établir des irrigations ont généralement perdu leur capital; et on conçoit que ces catastrophes aient empêché la formation de nouvelles sociétés; aussi pensons-nous que les canaux d'irrigation ne peuvent être entrepris qu'avec le secours de l'État, se présentant sous forme d'une garantie d'intérêt.

Il est manifeste que cette garantie occasionnera une dépense considérable, car pendant des années, les canaux d'irrigation seront obligés d'y avoir recours, mais en réalité l'État n'y perdra rien; en effet, quand l'eau arrive, la culture prospère, la production augmente et avec elle la matière imposable; en outre la valeur des propriétés s'accroît dans une large mesure, et au moment des transmissions, la part de l'État s'élève avec la valeur de la chose transmise, de telle sorte que si l'État dépense d'un côté, il reçoit de l'autre et la perte que lui occasionne son intervention dans la création des canaux se trouve comblée par l'augmentation de ses revenues indirects.

Cette manière de voir a été développée avec force, par un ingénieur espagnol des plus distingués, M. Llaurado, auquel nous empruntons une excellente page de sa communication au Congrès de Toulouse (1).

« Dans le nombre très restreint des grands travaux d'irrigation exécutés en Espagne dans les temps modernes en tout ou en partie aux frais de l'État, ceux du canal impérial de l'Aragon offrent des caractères très saillants et très instructifs pour ceux qui cherchent à étudier la portée des diverses entités sociales dans les grandes affaires d'irrigations. Le canal impérial d'Aragon prend à l'Ebre un volume d'eau qui varie de 35 jusqu'à 15 mètres cubes par seconde, minimum des plus bas étiages du fleuve. Ce canal construit de 1770 à 1790 fut commencé par une compagnie financière qui se ruina; il fut terminé aux frais de l'État, son but principal était d'établir la navigation entre Tudela en Navarre et Saragosse. Les irrigations s'établirent bientôt après l'ouverture du canal; mais la construction des chemins de fer de Pampelune à Madrid et à Saragosse ayant modifié dans ces derniers temps de fond en comble les conditions du trafic, la navigation a perdu presque toute son importance et l'emploi des eaux aux arrosages est devenu une nécessité pour l'exploitation financière

(1) Voyez aussi *Aguas y riegos*, Madrid, 1884, du même auteur.

du canal autant que pour la richesse du pays qu'il traverse. Les dépenses faites par l'État pour la construction du canal impérial ont laissé au Trésor public une charge annuelle de 1,500,000 francs et le produit direct que l'État en retire après un siècle d'exploitation ne dépasse pas la somme de 170,000 francs. L'affaire n'a pas cependant été ruineuse pour l'État, comme elle l'aurait été pour une compagnie particulière, car la construction du canal a été une source féconde de richesses qui directement ou indirectement cèdent toutes au Trésor public une partie des valeurs produites. En 1848, le gouvernement réduisit de moitié les rendements directs du canal, et dès lors la surface arrosée a augmenté de plus d'un tiers, et dans la même proportion s'est accrue l'intensité de la culture; des terrains qu'on laissait jusqu'alors en jachère donnent maintenant deux ou trois récoltes par an, et d'autres qui restaient incultes, ne pouvant pas supporter la taxe imposée aux terres emblavées, sont aujourd'hui cultivés avec le plus grand soin. Voici donc un exemple d'une affaire qui serait nécessairement ruineuse pour une compagnie et qui est au contraire lucrative pour l'État. L'activité privée sera économiquement capable de mener à bonne fin les projets d'irrigation toutes les fois que la compagnie concessionnaire pourra faire face aux frais d'exploitation de l'affaire et pourvoir au remboursement des intérêts et à l'amortissement du capital employé, au moyen des taxes imposées aux arrosants et à tous ceux qui utilisent les eaux d'une manière quelconque. Les projets qui ne satisferont pas à ces conditions sont nécessairement ruineux pour l'intérêt privé et quoi qu'on ne dise pas qu'ils doivent rentrer tous dans la sphère de l'État, on peut néanmoins affirmer qu'ils lui sont généralement avantageux, car outre le produit direct perçu par le Trésor public, celui-ci recueille à travers les mailles infinies du fisc la partie de sédiment que la richesse créée y dépose dans chacune des transformations multiples qu'elle éprouve. »

Il est visible que l'État peut avec grand avantage pour la prospérité générale engager des travaux qui ne nécessiteront pour lui que des avances qui seront couvertes non par les revenus mêmes de l'opération entreprise, mais par les revenus indirects qu'il en tirera.

Il est nécessaire toutefois pour que les entreprises d'irrigation réussissent qu'elles ne rencontrent pas dans l'état actuel de la propriété agricole des difficultés qu'elles auraient peine à surmonter; une terre qui n'est pas directement sur le parcours d'une branche d'amenée d'un canal ne peut recevoir l'eau qu'autant qu'elle traversera une ou plusieurs propriétés; si même le cultivateur qui veut irriguer ne peut s'entendre avec ses voisins pour la construction des canaux d'amenée, les frais qui lui incomberont seront hors de toute proportion avec les avantages qu'il en pourra tirer, il faut donc pour que les irrigations se multiplient que les propriétaires s'associent; jusqu'à ces dernières années ces associations étaient peu nombreuses, la création des syndicats agricoles

a beaucoup augmenté le nombre de ces associations, et il est vraisemblable que non seulement les syndicats faciliteront les ententes entre les propriétaires en vue de faciliter les irrigations, mais sauront peser sur les pouvoirs publics avec assez de force pour déterminer un mouvement en faveur de ces importants travaux trop longtemps négligés.

SECONDE SECTION

ENGRAIS

§ 176. — Définition de l'engrais.

De tous les procédés que possède le cultivateur pour augmenter ses récoltes, l'emploi de l'engrais est le plus rapide, le plus facile et souvent le plus efficace, mais aussi celui qui le plus facilement conduit à des pertes si l'engrais est répandu mal à propos ou en trop grande proportion; toujours son acquisition, très souvent sa production représentent une dépense, si elle n'est pas couverte par une ou plusieurs augmentations de récoltes d'une valeur égale ou supérieure à la somme déboursée, l'opération est mauvaise.

Il convient donc d'étudier les engrais avec le plus grand soin, de nous pénétrer de cette idée qu'autant leur emploi judicieux est avantageux, autant leur épandage inutile est onéreux.

Cherchons d'abord à définir nettement la qualité que doit présenter une matière pour être un engrais.

J'ai proposé depuis longtemps (1867) une définition qui a été généralement acceptée, j'ai défini l'engrais : *la matière utile à la plante, qui manque au sol.*

Cette définition comprend deux termes qu'il convient de discuter séparément :

L'engrais est la matière utile à la plante. — Une matière n'est un engrais qu'à la condition de pénétrer dans la plante, d'être assimilée, de rendre cette plante assez vigoureuse pour qu'à la maturité elle ait élaboré un poids de matière végétale plus fort que si cette matière avait fait défaut.

Pour que la matière soit utile, il faut d'abord, ainsi qu'il vient d'être dit, qu'elle soit assimilée, et tout d'abord nous sommes arrêtés par l'ignorance où nous sommes encore des méthodes à em-

ployer pour savoir si une matière est assimilable ou ne l'est pas. En effet, une matière peut être soluble et n'être pas assimilable, tel est le cas du sel marin, qui bien que soluble ne pénètre pas dans la plante, qui très habituellement ne présente pas de soude dans ses cendres (§ 38).

Non seulement toutes les matières solubles sont bien loin d'être toutes assimilables, mais en outre, toutes les matières insolubles sont bien loin d'être inutiles, car elles peuvent être solubilisées soit par suite des réactions qui se produisent dans le sol, soit par l'action qu'exercent les sucs acides des racines sur les matières insolubles.

L'acide phosphorique dit rétrogradé, qui après avoir été dissous par les acides a contracté de nouvelles combinaisons qui l'ont rendu de nouveau insoluble, est cependant assimilable. Il le devient, soit par les réactions qui se produisent dans le sol même, en dehors de toute action des végétaux, par l'acide carbonique provenant des combustions lentes déterminées par les microorganismes qui pullulent dans le sol, soit par les réactions qui s'établissent entre les diverses matières que le sol renferme : par échange de bases notamment, et on conçoit dès lors que telle substance utilisable dans un sol parce qu'elle y devient soluble cesse de l'être dans un autre où cette solubilité ne se produit pas; c'est ce que l'expérience a enseigné nettement : les poudres de nodules sont employées avec avantage sur les terres de défrichement, elles n'exercent qu'une action nulle ou très lente sur nombre de sols anciennement cultivés où les superphosphates font merveille.

La matière insoluble peut être dissoute, puis assimilée, par l'action qu'exercent sur elle les sucs acides des racines. Nous avons rappelé dans le cours de cet ouvrage (page 271) qu'il est facile de voir les ramifications les plus fines d'une racine de haricot tracer un léger sillon sur une plaque de marbre poli, en le dissolvant; ces sécrétions varient naturellement d'une plante à une autre, c'est ainsi qu'en mettant en expériences dans les mêmes conditions des racines de blé ou d'avoine, on ne les voit pas attaquer le marbre, et on conçoit dès lors qu'une substance utilisable pour une espèce ne le soit pas pour une autre.

Une matière assimilable très utile, quand elle est employée par le végétal à l'élaboration de ses tissus ou des principes qu'ils renferment, cesse d'être avantageuse quand, distribuée avec profusion, elle ne sert plus qu'à constituer des réserves qui restent inutilisées dans les tissus; ces matières peuvent même devenir nuisibles,

tel est le cas des nitrates qui s'accumulent dans les racines des betteraves fourragères, dans les tiges des sorghos ou des maïs en proportions telles qu'ils exercent des actions nocives sur les animaux qui consomment ces aliments.

Tandis que les nitrates employés en forte proportion élèvent régulièrement le poids des graminées, nous savons que leur influence est nulle ou très faible sur les légumineuses pourvues de nodosités aux racines; c'est là une des preuves les plus nettes que la qualité d'engrais est absolument relative, et qu'une matière utile à une plante, qui est pour cette espèce un engrais, cesse de mériter ce nom quand elle est appliquée à une autre espèce; la première partie de la définition est donc absolument justifiée; une matière n'est un engrais qu'autant qu'elle est utile à la plante sur laquelle elle est appliquée.

L'engrais est la matière qui manque au sol. — Ajouter à un sol une matière qu'il renferme déjà en quantité suffisante pour subvenir aux besoins des récoltes est manifestement inutile et la doctrine de la restitution au sol des éléments enlevés par les récoltes, sans se préoccuper de la richesse du sol lui-même, est visiblement une pratique nuisible aux intérêts du cultivateur, puisqu'elle le conduit à acquérir des substances qui n'exerceront aucune influence sur l'augmentation des récoltes.

L'emploi de l'engrais, ainsi qu'il a été dit déjà, est réglé non seulement par la constitution des plantes, mais aussi par celle du sol; l'engrais, comme l'a toujours professé Chevreul, est essentiellement une matière complémentaire.

Les exemples justifiant cette distinction abondent : habituellement les superphosphates n'exercent aucune action sur le sol du domaine de Grignon, ils sont sans effet sur les terres du domaine de Bourdon dans la Limagne d'Auvergne; ils sont très efficaces au contraire dans la terre de Blaringhem que j'ai cultivée autrefois avec feu M. Porion; sur un grand nombre de sols d'Eure-et-Loir, les superphosphates exercent l'influence la plus heureuse; les nodules réduits en poudre, le noir animal ont transformé les landes de Bretagne; les phosphates sont donc des engrais, mais là seulement où ils font défaut dans le sol.

Malheureusement ici encore, nos connaissances actuelles sont insuffisantes pour nous guider avec sûreté dans l'emploi des engrais. Si, en effet, l'analyse nous renseigne avec une exactitude suffisante sur la quantité totale d'une matière alimentaire pour les

végétaux ; si nous savons doser correctement l'acide phosphorique total, l'azote total d'un sol, nous ne sommes plus aussi bien renseignés sur l'état dans lequel se trouvent ces matières alimentaires et encore moins sur les transformations que ces matières subissent pendant une saison, nous avons déjà développé ces considérations et il est inutile d'y revenir.

Résumé. Nécessité des champs d'expériences. — On conçoit dès lors que les études de laboratoire soient encore insuffisantes pour nous renseigner sur la valeur que présentera un engrais dans un sol donné et qu'il faille faire une grande part à l'expérimentation directe sur le sol, que par suite la multiplication des champs d'expérience présente le plus grand intérêt. Toutefois, pour que les résultats qui y seront obtenus puissent guider non seulement l'agronome ou le praticien qui ont établi ces cultures expérimentales, mais pour qu'en outre ces résultats puissent servir à l'instruction générale, une condition doit être remplie : il faut qu'à l'énoncé des résultats, soit jointe une analyse du sol aussi complète que possible, un résumé météorologique donnant au moins les quantités d'eau tombées, avec leur répartition et les températures moyennes des mois de végétation active (1). Ces indications permettront de conclure que dans tel sol, sous tel climat, tel engrais réussit sur telle culture, et les praticiens qui se trouveront dans des conditions analogues à celles où les résultats ont été obtenus pourront en tirer des règles de conduite, tandis que des analyses de terre isolées, des pesées de récoltes sans indication de la composition du sol sont sans utilité générale ; c'est seulement en liant ces indications les unes aux autres, nous le répétons, qu'on pourra un jour en dépouillant ces documents en tirer des conseils utiles aux cultivateurs et leur prescrire que le semis de telle espèce, dans tel sol, doit être précédé de l'épandage de tel engrais.

Les considérations précédentes montrent que l'emploi judicieux des engrais exige beaucoup de réflexions, puisqu'il n'est économique que lorsqu'il est réglé par la connaissance des besoins de la plante à cultiver, par la richesse du sol sur lequel elle est semée.

Nous exposerons les matières contenues dans cette dernière partie de la *Chimie agricole*, en classant les engrais d'après leur origine dans l'ordre suivant :

(1) Plusieurs des professeurs départementaux d'agriculture qui dirigent des champs d'expériences ne manquent pas de donner ces indications, je citerai notamment M. Houzeau à Rouen, M. Garola à Chartres, M. Zacharewicz à Avignon, etc.

Chapitre IV. — Engrais d'origine végétale.
— V. — Engrais d'origine animale. Guanos.
— VI. — Matières excrémentitielles et eaux d'égout.
— VII. — Engrais salins d'origine animale. Nitrate de soude et sulfate d'ammoniaque.
— VIII. — Engrais mixte. Fumier de ferme.
— IX. — Engrais minéraux. Phosphates.
— X. — Sels de potasse. Chlorures. Sels de fer.
— XI. — Engrais chimiques.

Ces engrais ayant été décrits, nous indiquerons les méthodes à employer pour déterminer leur composition et nous résumerons les textes des lois qui règlent leur commerce :

Chapitre XII. — Commerce et analyse des engrais.

Enfin le chapitre XIII et dernier est intitulé :

Prix et valeur des engrais.

CHAPITRE V

ENGRAIS VÉGÉTAUX.

L'étude des engrais végétaux comprend les paragraphes suivants :

1° Résidus des récoltes;

2° Plantes cultivées comme engrais;

3° Plantes récoltées comme engrais. Plantes marines ;

4° Résidus des diverses industries : Tourteaux. Marcs de pommes, de raisins, etc. Eaux de féculerie, etc.

§ 177. — Résidus des récoltes.

Ces résidus varient d'importance avec la nature des plantes cultivées, avec leur abondance, avec la facilité variable qu'ils présentent à la décomposition, nous devons donc les distinguer d'après la nature des récoltes dont ils proviennent.

Cultures des céréales. — Les cultures de céréales laissent au sol qui les a portées des racines et des chaumes ; il est assez difficile d'apprécier exactement la quantité de racines laissée par une culture, ce n'est qu'en enlevant complètement une motte de terre jusqu'à une grande profondeur, puis en détachant cette terre par un séjour prolongé dans l'eau qu'on réussit à obtenir sans perte les racines. Le rapport de la tige à la racine est variable, très élevé

pendant le jeune âge, il passe par un minimum pour se relever au moment de la maturité quand la tige affaiblie se sépare de ses vieilles feuilles ; on peut, je crois, sans courir la chance de grandes erreurs supposer qu'au moment de la maturation le poids des racines est à celui de la tige comme 8 est à 100 (1). Une récolte moyenne de céréales pesant 6000 kilogrammes, le poids des racines serait de 480 kilogrammes, en nombre rond de 500 kilogrammes.

Au moment de la récolte, nous avons trouvé M. Nantier et moi environ 0,6 d'azote dans 100 de racines sèches d'avoine, ce qui correspondrait à 28 kilogrammes d'azote pour la récolte en supposant que les racines renfermassent 10 p. 100 d'eau au moment de la pesée; dans les racines de blé on a trouvé seulement 0,4 d'azote en 1881, ce qui ne donnerait que 18 kilogrammes d'azote, la proportion d'acide phosphorique était seulement de 0,11 ou de 5 kilogrammes par hectare.

MM. Muntz et Girard estiment que les déchets des feuilles peuvent s'élever à 1,700 kilogrammes pour les récoltes de céréales d'un hectare.

Quoi qu'il en soit, au poids des racines il convient d'ajouter celui des chaumes, celui des feuilles qui tombent pendant la durée de la végétation, enfin des graines qui s'échappent au moment de la moisson.

La quantité de matière végétale laissée par le blé ou l'avoine est en somme peu considérable, et les récoltes de céréales sont considérées à juste titre comme épuisantes; elles ne laissent que de faibles résidus, qu'on peut estimer pour une récolte moyenne à une trentaine de kilogrammes d'azote et à une dizaine d'acide phosphorique.

Ces faibles résidus sont largement compensés par les pertes considérables que font les terres arables cultivées en blé quand après la moisson les terres restent découvertes pendant tout l'hiver. Nous avons déjà insisté sur ce sujet, § 140, et nous y reviendrons plus loin.

Si les résidus laissés par les récoltes de céréales sont peu abondants et d'une décomposition assez lente, ils exercent leur action pendant fort longtemps : on se rappelle la belle expérience exécutée à Rothamsted pour apprécier la valeur des fumures antérieures, nous en avons rappelé les traits principaux page 469. On

(1) *Ann. agron.*, t. III, p. 486.

a vu que les résidus laissés par une forte fumure de sels ammoniacaux appliqués à une culture d'orge ou de blé exerçaient leur action pendant plus de dix ans, or ces résidus n'ont pas persisté sous leur forme primitive ; ce n'est pas du nitrate de soude ou du sulfate d'ammoniaque qui sont conservés dans le sol pendant de si nombreuses années ; ce qui reste, ce sont les détritus organiques d'autant plus abondants que la récolte provoquée par les engrais a été plus abondante ; or ces résidus sont loin d'être insignifiants puisque la parcelle qui a été la plus fortement fumée au nitrate de soude laisse en moyenne pendant les quatorze ans qu'a duré l'expérience $2^{hect},7$ d'orge et 250 kilogrammes de paille que sa voisine plus faiblement fumée. Quoi qu'il en soit, les pertes qu'occasionne l'entraînement des nitrates pendant l'automne qui suit la moisson des céréales compensent et au delà la valeur des résidus, et c'est à juste titre que la culture des céréales est considérée comme épuisante.

Culture des légumineuses. — Les cultures de légumineuses laissent au contraire des débris très abondants : Boussingault a trouvé que le poids total des débris et racines de trèfle supposés desséchés à 110° pouvait être évalué à 1,547 kilogrammes par hectare, la quantité totale d'azote qu'ils renfermaient était égale à $27^{kil},7$. Si, au lieu d'enfouir seulement ces débris, on avait enterré en même temps la seconde coupe, évaluée à 2,550 kilogrammes de foin desséché, contenant $42^{kil},3$ d'azote, on voit que l'engrais eût presque triplé.

Quand on pèse, non plus les racines d'un trèfle qui ne reste dans le sol que dix-huit mois, mais celles d'une luzerne qui persiste pendant cinq, six et même huit ou dix ans, les résidus sont très abondants : M. de Gasparin a trouvé pour le poids des débris et des racines d'une luzerne : 37,021 kilogrammes, contenant à l'état normal 0.8 p. 100 d'azote ; la quantité totale est donc de 296 kilogrammes.

Dans les expériences qu'il a exécutées au Muséum sur la fixation de l'azote libre par les légumineuses, M. Bréal a trouvé qu'une luzerne développée dans un pot rempli de gravier a donné pour trois coupes $66^{gr},9$ de matière sèche pour la partie aérienne et $30^{gr},9$ pour la racine ; 100 de racine à l'état normal renfermait $0^{gr},51$ d'azote, nombre plus faible que celui de M. de Gasparin, correspondant à 2.74 p. 100 de matière sèche. Les racines renfermaient donc $0^{gr},186$ d'azote. Si un hectare avait porté une culture de

luzerne semblable à celle qui a été étudiée, il aurait été enrichi par les racines de $84^{kil},60$, mais en même temps la terre elle-même aurait gagné 246 kilogrammes, ce qui aurait produit un gain total de $330^{kil},60$.

On doit à MM. Lawes et Gilbert une expérience curieuse sur l'enrichissement en azote d'un sol qui a porté du trèfle blanc; ce sol fut, en 1873, divisé en deux parties; sur l'une des moitiés on sema de l'orge comme on l'avait fait pour le champ entier les années précédentes, sur l'autre moitié du trèfle; la récolte de trèfle accusa $169^{kil},5$ d'azote, celle d'orge $41^{kil},7$ seulement. L'année suivante, en 1874, on remit de l'orge sur les deux portions du champ, on trouva que sur celle qui avait porté du trèfle la récolte d'orge fut beaucoup plus abondante, elle contenait $77^{kil},7$ d'azote tandis que sur la partie du champ qui avait porté de l'orge l'année précédente, l'orge récoltée renfermait seulement $43^{kil},8$ d'azote.

Cette différence est due à l'enrichissement en azote du sol qui avait porté le trèfle; en effet, après que le trèfle et l'orge eurent été récoltés, en octobre 1873, on préleva des échantillons de terre, on trouva $1^{gr},578$ d'azote par kilogramme pour la terre qui avait porté le trèfle et seulement $1^{gr},450$ pour celle qui avait porté l'orge, la différence est donc de $0^{gr},1$ par kilogramme et si on admet que la terre d'un hectare pèse 4,000 tonnes, on aurait pour la différence de richesse des deux sols 400 kilogrammes d'azote pris à l'atmosphère; ce qui n'est pas très différent du nombre donné par M. Bréal pour sa culture de luzerne.

On voit combien est méritée l'expression de plantes améliorantes donnée aux légumineuses. Nous avons trop longuement développé les expériences exécutées par MM. Hellriegel et Wilfarth sur la fixation d'azote par les légumineuses pour qu'il soit utile d'y revenir ici.

Betteraves. Pommes de terre, etc. — Les betteraves conduites aux sucreries sont débarrassées sur le champ même qui les a portées des collets et des feuilles adhérentes et de l'extrémité de la racine, les feuilles sont souvent employées à couvrir les tas de betteraves avant qu'elles ne soient conduites aux silos où les fabricants viennent les prendre, quand elles restent ainsi exposées à l'action de l'air, elles entrent rapidement en fermentation et dégagent des quantités notables d'ammoniaque.

J'ai été obligé d'interdire au champ d'expériences de Grignon de laisser les betteraves recouvertes de feuilles séjourner sur les par-

celles, jusqu'au moment où elles étaient utilisées; l'année suivante en effet, on voyait manifestement les places où ces betteraves avaient séjourné, les plantes y devenaient plus hautes et plus fortes, elles avaient reçu une fumure supplémentaire considérable.

L'analyse démontre en effet que ces résidus renferment une quantité notable de matières utilisables : M. Pagnoul a trouvé pour les betteraves médiocrement riches qu'on cultivait il y a quinze ans dans le Pas-de-Calais, les nombres suivants pour la teneur à l'hectare des feuilles :

Pour un hectare.

Engrais employés.	Poids des feuilles normales.	Poids des feuilles sèches.	Azote total.	Acide phosphorique.	Carbonates alcalins.	Chlorures alcalins.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Nitrate de soude...	24.000	2844	84	13	331	51
Sulfate d'amm.....	28.100	2984	92	22	277	86
Tourteau.....	23.300	4329	114	28	356	75

Les nombres varient naturellement d'une saison à l'autre, les grandes récoltes obtenues à Wardrecques donnaient de 40 à 50,000 kilogrammes de feuilles et de collets à l'hectare et laissaient 140 kilogrammes d'azote, 40 kilogrammes d'acide phosphorique et 160 kilogrammes de potasse.

MM. Muntz et Girard donnent comme moyenne des résidus laissés par les diverses cultures de racines et de tubercules les nombres suivants :

	Betteraves fourragères.	Betteraves à sucre.	Carottes.	Navets.	Pommes de terre.	Topinambours.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Azote.....	60	36.0	51	45.0	20.6	53.2
Acide phosphorique.....	16	15.6	21	19.5	4.2	8.5
Potasse.....	86	48.0	37	48.0	12.6	14.5
Chaux.....	34	43.2	86	67.5	21.1	202.3

On sait qu'une tonne de fumier renferme environ 5 kilogrammes d'azote, 3 kilogrammes d'acide phosphorique et 5 kilogrammes de potasse; on voit que les résidus laissés par une culture de betteraves fourragères équivalent pour l'azote à 12,000 kilogrammes de fumier, suffisants pour soutenir la récolte de céréale qui suit, sans qu'il soit habituellement nécessaire de donner une nouvelle fumure.

§ 178. — Plantes cultivées comme engrais.

Il n'est avantageux de consacrer toute une saison à la culture des plantes destinées à être enfouies, que dans les terres de montagnes, où il est impossible de faire arriver les engrais; pour les remplacer on cultive d'ordinaire, dans ces conditions, des légumineuses peu exigeantes comme des lupins, qui enrichissent le sol d'azote atmosphérique.

Si cette pratique ne se présente que dans des conditions très exceptionnelles, il en est une autre qui tend à se répandre avec grand avantage, c'est celle des cultures dérobées comme engrais.

Dans le Nord de la France, on a été conduit à réduire l'assolement à deux plantes qui se succèdent indéfiniment; le blé et la betterave; après la culture du blé, le sol reste découvert pendant six mois : on ne donne guère les grands labours qu'à la fin d'octobre ou en novembre après que la terre a été détrempée par les pluies: or, de la moisson à ces labours les pluies d'automne lavent le sol et lui enlèvent des quantités notables d'acide nitrique.

Nous avons déjà abordé ce sujet, mais il est d'une telle importance que nous voulons y revenir encore; nous donnons dans le tableau suivant les quantités d'azote nitrique entraînées par les eaux de drainage d'un hectare des terres de Grignon restées découvertes, depuis la moisson jusqu'en novembre, au moment des grands labours.

Azote nitrique perdu à l'hectare.

1889	$72^{k},2$
1890	$10^{k},2$
1891	$42^{k},5$

On voit que si la quantité d'azote nitrique contenue dans les eaux de drainage varie beaucoup d'une année à l'autre, elle est en moyenne très considérable dans les terres perméables où la nitrification est active. Les cultures dérobées pour engrais sont particulièrement précieuses pour éviter ces pertes énormes, représentées en moyenne à Grignon pour les trois ans par $41^{k},6$ d'azote, correspondant à 260 kilogr. de nitrate de soude, poids d'engrais supérieur à celui qu'on acquiert chaque année. Quand les plantes semées immédiatement après la moisson sur les labours de déchaumage lèvent bien, elles retiennent parfois complètement les

eaux, les drains cessent de couler; c'est ce qui est arrivé en 1891 à Grignon, où les cultures dérobées de vesce ont très bien réussi; quand les eaux sont trop abondantes pour être évaporées par les jeunes plantes, celles-ci s'emparent presque complètement des nitrates ainsi qu'il a été dit déjà.

J'ajouterai aux renseignements inscrits page 502, et qui sont relatifs aux résultats constatés en 1890, ceux que j'ai obtenus en 1891.

Ainsi qu'on vient de le dire, en moyenne les terres nues ont perdu en 1891 de septembre à novembre 42k,5 d'azote nitrique. Or, cette année :

	Azote nitrique perdu à l'hectare.
Après chanvre, culture dérobée de vesce...	0. (Les drains n'ont pas coulé).
Après avoine, culture dérobée : moutarde et trèfle (1).....	0k,808

Les pertes ont donc été complètement évitées.

Les cultures dérobées de moutarde ont réussi sur un grand nombre de parcelles non drainées, au moment de l'enfouissage, les plantes vertes pesaient en moyenne 4770 kilos à l'hectare. On a dosé dans cette moutarde :

Matière sèche.....	26.64 p. 100
Azote.....	6.60 p. 100 de mat. sèche.
Ou Azote.....	1.75 p. 100 de mat. normale.

D'où 83k,47 d'azote introduits dans le sol d'un hectare, par l'enfouissage de la culture dérobée.

Ainsi, non seulement la moutarde a empêché la perte des 42k,5 d'azote qu'ont entraînée les eaux du drainage des terres nues, mais en outre ses racines ont saisi plus de 40 kilos d'azote, qui existant probablement à l'état de nitrates auraient été entraînés par les pluies d'hiver. Les 83k,47 d'azote de la récolte enfouie représentent la quantité existant dans $\frac{83^k,47 \times 1000}{5} = 16,694$ kilos de fumier, c'est une demi-fumure.

La vesce n'a pas été également bien réussie partout, sa récolte a varié au moment de l'enfouissage de 8833 kilos à l'hectare à

(1) La moutarde s'est médiocrement développée, elle a été remplacée spontanément par du trèfle.

12,780 kilos, en moyenne, elle est donc de 10,806 kilos, on y a dosé :

Matière sèche.....	20.75 p. 100
Azote.....	6.33 p. 100 de mat. sèche.
Ou azote.....	1.31 p. 100 de mat. normale.

L'azote contenu dans la récolte d'un hectare est donc égal à 167k,41, ce qui correspond pour une fumure de fumier à 5 kilos par tonne, à 33,480 kilos de fumier, c'est une fumure moyenne.

Il est visible que non seulement cette culture en évaporant l'eau qui sans elle aurait traversé le sol a empêché la déperdition des nitrates qui s'y trouvaient, mais qu'en outre elle a fixé dans ses tissus une quantité notable d'azote atmosphérique. La vesce cette année a été très supérieure à la moutarde.

La dépense qu'occasionne la semaille n'est pas très considérable. A Grignon, nous semons de 15 à 18 kilogrammes de moutarde à l'hectare, il importe de couvrir le sol très vite; jusqu'à présent nous avons toujours semé la moutarde après un labour de déchaumage dans les premiers jours d'août et il me paraît difficile pour cette plante d'opérer autrement.

Quand on emploie comme fourrage vert la vesce, on en sème deux hectolitres à l'hectare, elle a été cette année semée en août après la moisson; peut-être cette semence serait-elle avantageusement distribuée dans le blé au moment des pluies de mai ou juin quand on peut encore pénétrer dans les cultures sans les endommager, on aurait ainsi la terre bien garnie au moment de la moisson, et la vesce aurait pris avant son enfouissage un bon développement.

Quand la vesce est employée avant les betteraves qui ne se sèment qu'en avril, on pourra, dans les terres qui ne sont pas trop difficiles, la laisser passer l'hiver et ne l'enfouir qu'au printemps, si l'hiver est doux elle peut encore prospérer.

Les cultures vertes comme engrais méritent donc une sérieuse attention. C'est seulement en 1890, après mes études sur les eaux de drainage, que j'ai conseillé de les employer, mais cette pratique est fort ancienne dans certaines contrées, notamment dans la Limagne d'Auvergne; la richesse de son sol n'est entretenue que par l'enfouissement des récoltes vertes et par de maigres fumures de fumier de ferme généralement très mal préparé.

Décomposition dans le sol. — La décomposition des plantes

enfouies n'est pas très rapide, quinze jours ou trois semaines après l'enfouissage, les feuilles et les tiges sont encore vertes, mais déjà molles et flétries, bientôt cependant elles noircissent, et dans une terre médiocrement humide commencent à exhaler de l'ammoniaque, après deux à trois mois on a peine à reconnaître les débris.

Il y aurait grand intérêt à connaître les conditions les plus favorables à la décomposition complète des matières organiques végétales dans le sol, de façon à savoir comment il faut employer les engrais verts : on conçoit, par exemple, qu'on puisse tout simplement les écraser par un rouleau, puis les enterrer par la charrue au moment des grands labours, ou bien qu'au contraire on les fauche, on les abandonne en tas à l'air humide, puis qu'ensuite, quand la fermentation y aura commencé, on les étende à la surface du sol comme on le ferait pour du fumier et qu'on ne les enfouisse qu'après le commencement de la fermentation.

Il est visible que cette seconde méthode occasionne une dépense de main-d'œuvre considérable et qu'elle ne pourra être acceptée qu'autant qu'il serait démontré que les engrais verts, enfouis seulement après un commencement de fermentation, sont beaucoup plus efficaces que lorsqu'ils sont enterrés encore intacts.

Nous n'avons pas encore de renseignements assez nombreux sur ce sujet pour pouvoir décider la question, il est bon de savoir cependant que la fermentation sera d'autant plus complète et plus rapide qu'elle aura lieu au contact de l'air : les ferments aérobies seuls sont assez énergiques pour déterminer l'oxydation des matières végétales, seuls ils déterminent une altération complète qui les transforme en produits noirâtres voisins de l'humus. Si on se décide à laisser les plantes coupées exposées à l'air, il sera bon de ne pas prolonger outre mesure la décomposition, car la combustion est assez active pour réduire beaucoup la masse à enfouir. En deux mois des feuilles de betteraves laissées à l'air ont perdu 80 p. 100 de leur matière sèche. Quand on enfouit des engrais verts (feuilles et tiges de luzerne, feuilles de betteraves) dans une terre très humide, elles s'y conservent au contraire assez longtemps, car elles sont privées du contact de l'air; dans ces conditions on retombe sur les phénomènes de l'ensilage, qui ne réussit bien que lorsque les masses végétales sont assez tassées pour que l'air n'y pénètre plus.

Dans une terre bien garnie de ferments les choses peuvent se passer autrement et une partie de l'azote contenu dans les ma-

lières en décomposition peut se dégager, soit à l'état libre, soit à celui de protoxyde, surtout quand les matières enfouies renferment des nitrates comme c'est le cas pour les feuilles de betteraves; on retrouverait là ce que nous avons observé, M. Maquenne et moi, dans nos recherches sur la réduction des nitrates. M. Tacke (1) croit même que cette réduction avec dégagement d'azote libre a lieu en présence d'une petite quantité d'oxygène.

M. Wolny s'est occupé il y a quelques années de ce sujet (2) et il a reconnu, ainsi qu'il vient d'être dit, que la décomposition des matières végétales est d'autant plus active qu'elles sont exposées plus complètement à l'action de l'air humide et que la température est plus élevée. L'altération est due presque exclusivement à l'action des microorganismes, quand la masse est stérilisée, elle n'émet plus que des quantités insignifiantes d'acide carbonique.

Souvent, la décomposition est nettement ammoniacale, mais l'ammoniaque formée ne persiste pas longtemps dans le sol, elle ne tarde pas à s'y nitrifier, ainsi que le montre l'observation suivante due à M. Muntz.

L'auteur (3) a mis en comparaison dans divers sols : des engrais verts, du sang desséché et du sulfate d'ammoniaque à raison de 1 gramme d'azote pour chaque engrais, puis a déterminé la quantité d'azote nitrifié, après trois mois ; il a obtenu les résultats suivants :

	Azote nitrique formé par kilogr. de terre.	
	Terre légère.	Terre forte.
Avec engrais vert (lupin)	183 milligr.	88 milligr.
Sang desséché.....	161 —	3milligr,6
Sulfate d'ammoniaque	268 —	5 ,1

On voit que les engrais verts en rendant la terre plus poreuse, plus perméable à l'air, exercent sur la nitrification des terres fortes une action particulièrement avantageuse.

M. Muntz a poursuivi ces études à la ferme de Vincennes en terre légère ; on a employé divers engrais azotés en quantités telles qu'il y eut pour chaque lot : 100 kilogrammes d'azote par hectare, les autres matières fertilisantes existant d'ailleurs en abondance. On a semé une plante très épuisante, le maïs géant employé comme fourrage.

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 185.
(2) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 285.
(3) *Comptes rendus*, t. CX, p. 972.

Dix-huit jours après avoir répandu les engrais on a examiné la terre et on y a trouvé :

	Acide nitrique par kilogr. de terre.
Parcelle avec engrais vert (luzerne)	86milligr,0
— avec sang desséché	72 ,2
— avec sulfate d'ammoniaque	121 ,4
— sans engrais azoté	14 ,5

L'engrais vert a nitrifié plus rapidement que le sang desséché.

Les coupes de maïs, fin septembre, ont donné les récoltes suivantes rapportées à l'hectare :

Parcelle avec engrais vert (luzerne)	78.000 kilogr.
— avec sang desséché	71.500 —
— avec sulfate d'ammoniaque	66.000 —
— avec nitrate de soude	78.500 —
— sans engrais azoté	39.500 —

Il est donc évident que l'engrais vert a montré une grande efficacité puisque la récolte qu'il a fourni a été aussi abondante que celle qu'on a obtenue du nitrate de soude.

A Grignon, j'ai observé souvent, ainsi qu'il a été dit déjà, que le séjour prolongé des tas de feuilles de betteraves à l'automne même sans enfouissement, exerçait sur le développement du maïs fourrage, qui occupait ces terres l'année suivante, une influence très marquée; les plantes d'un vert foncé dominaient celles qui n'avaient pas reçu cet excès de fumure.

§ 179. — Plantes spontanées employées comme engrais.

Dans les sols non calcaires, granitiques, schisteux, sablonneux, se développent spontanément les ajoncs, les genêts, les bruyères, qui peuvent être employés soit directement comme engrais, soit même servir d'aliments pour le bétail; l'ajonc convenablement brisé par le hache-ajonc-rotatif est accepté par les animaux; et souvent, il est utilisé comme fourrage très nutritif, car il renferme 6 p. 100 de matières azotées; souvent aussi mélangé à du phosphate de chaux, il est employé avantageusement comme engrais (1).

M. Petermann (2) a donné la composition des plantes spontanées des Ardennes :

(1) *Ann. agron.*, t. I, p. 157.
(2) *Ann. agron.*, t. IX, p. 251.

	100 de plantes séchées à l'air renferment.			
	Fougère.	Bruyère.	Genêt.	Paille de seigle en comparaison.
Azote.....	2.38	0.80	2.54	0.40
Potasse.....	2.76	0.37	0.91	0.86
Soude.....	0.03	0.07	0.06	0.07
Chaux.....	0.84	0.23	0.39	0.31
Magnésie.....	0.50	0.15	0.21	0.12
A. phosphorique...	0.33	0.03	0.30	0.25

Ces plantes peuvent avantageusement, en outre, servir de litière, elles retiennent une quantité de purin comparable à celle de la paille de froment :

100 kilogr. de paille de froment peuvent retenir.....	254	litres de purin.
— de fougère —	212	—
— de bruyère —	190	—
— de genêt —	111	—

Feuilles des arbres. — Dans les pays de forêt, il est souvent permis d'aller relever les feuilles mortes qui jonchent le sol, ces feuilles sont très appauvries en azote, acide phosphorique et potasse, résorbés avant leur jaunissement; mais elles s'imprègnent facilement de liquide, se décomposent vite et peuvent utilement être employées comme litières; elles servent surtout à augmenter la quantité d'humus du sol qui les reçoit.

Tiges. — Les tiges des topinambours, les chaumes de colza, de maïs, les branches des porte-graines de betteraves, sont durs, coriaces, lents à décomposer, on ne peut les laisser sur le sol, car ils gênent les labours, aussi généralement tous ces débris sont-ils brûlés; sans doute on pourrait les employer à la fabrication de composts, mais il ne faudrait le faire qu'autant qu'on aurait de la main-d'œuvre à très bon marché; si cette fabrication devait conduire à une dépense un peu forte, elle pourrait fort bien n'être pas avantageuse. (Voyez plus loin, la préparation des composts).

§ 180. — Plantes marines employées comme engrais.

L'Océan reçoit, par tous les cours d'eau, des masses énormes de matières fertilisantes, et notamment tous les nitrates qui s'échappent de nos terres cultivées; nous avons vu que ces nitrates ne persistent pas dans la mer à leur état primitif, ils sont sans doute utilisés par les plantes marines, qui en se décomposant donnent l'ammoniaque qui a été constatée dans toutes les eaux

de mer. Les continents ne récupèrent au reste que bien incomplètement les quantités prodigieuses d'azote combiné qu'ils cèdent à l'Océan, on en tire de médiocres quantités de poissons et des quantités moins importantes encore de plantes employées comme engrais.

Les goémons ou varechs ne sont utilisés que sur les bords mêmes de la mer, mais ils le sont avec grand avantage et parfois exclusivement; l'île de Noirmoutiers maintient à son sol, depuis des siècles, une fertilité moyenne par l'emploi exclusif des goémons, les déjections du bétail sont séchées et employées comme combustible, remplaçant ainsi le bois qui fait défaut : les arbres résistent difficilement, en effet, aux grands vents d'ouest qui parcourent toute notre côte occidentale; l'île de Ré presque entièrement couverte de vignes ne les fume également qu'avec des varechs; sans le géomon, Jersey ne serait pas le pays du monde où le produit brut à l'hectare atteint le chiffre le plus élevé et monte parfois à 5000 francs par la culture des primeurs. En Bretagne, le prix de location des terres varie avec la distance à la mer et la facilité que trouvent les cultivateurs à s'approvisionner de goémons; de 300 à 400 francs l'hectare pour le premier kilomètre, le prix descend à 200 francs pour le second, et tombe à 30 ou 40 francs, au delà de 5 ou 6 kilomètres, aux points où le goémon ne peut plus être économiquement transporté, avec les moyens actuels.

Le goémon ne présente pas, en effet, une richesse suffisante pour pouvoir arriver à une grande distance de la côte; on a essayé de le comprimer en tourteaux après dessiccation incomplète. Malaguti qui s'était occupé de cette question, il y a vingt-cinq ans (1), avait trouvé pour des goémons renfermant encore 29 p. 100 d'eau, 1.28 d'azote.

Nous donnons dans le tableau suivant la composition centésimale d'un certain nombre de fucus employés comme engrais.

MATIÈRES DOSÉES.	DIVERS FUCUS de la mer du Nord.	DIVERS LAMINARIA de la mer du Nord.	GOÉMONS D'ÉPAVE.	GOÉMONS DE COUPE.	MÉLANGE de DIVERSES plantes marines.
Eau.....	70	75 à 80	61 à 76	66.9 à 69.7	80.44
Azote.....	0.3 à 0.4	0.15 0.50	0.57 0.38	0.36 0.53	0.45
Acide phosph...	0.1 0.2	0.20 0.30	0.20 0.08	0.15 0.13	0.46
Potasse.....	0.5 1.0	1.00 2.00	» »	» »	1.29
Chaux.....	0.5 1.0	0.50 1.00	1.10 0.68	1.10 0.86	1.86

(1) *Enquête sur les engr. industriels*, p. 902.

On laisse toujours les goémons exposés à l'action de la pluie pour les débarrasser du sel qu'ils retiennent mécaniquement au moment où ils arrivent à la côte, puis habituellement on les dispose en tas, ils subissent une fermentation qui les désagrège et permet de les incorporer au sol plus facilement; toutefois, il ne faut pas laisser cette fermentation se prolonger sous peine de voir la masse perdre à l'état d'ammoniaque une partie importante de l'azote qu'elle renferme. Peut-être y aurait-il avantage, quand la masse commence à répandre une forte odeur ammoniacal, à la couvrir de terre, de façon à retenir l'ammoniaque; on formerait ainsi un véritable compost et l'on pourrait attendre, sans s'exposer à des pertes sérieuses, le moment où l'épandage doit avoir lieu.

§ 181. — Tourteaux.

Nous avons vu dans la première partie de cet ouvrage que la maturation des plantes herbacées consiste essentiellement dans le transport des principes élaborés par les feuilles jusque dans les graines. Ces principes ainsi accumulés dans les graines sont toujours des albuminoïdes, mais suivant les espèces, ce sont, en outre, tantôt des matières amylacées,tantôt des huiles.

On extrait l'huile des graines oléagineuses, en les réduisant en poudre, puis en les soumettant à une forte pression; le résidu, le gâteau comprimé constitue le tourteau, qui est utilisé soit à la nourriture de bétail soit à l'engraissement des terres.

Quelques tourteaux ne peuvent être appliqués qu'à ce dernier usage, tels sont ceux de Moutarde, de Pignon d'Inde, de Ricin et de Pulguère, de Sésames noirs et d'Arachides; en outre, les tourteaux de Béraf, de Mafouraire, de Courge, de Madia, de Niger, de Ravison, de Touloucouna bien qu'étant comestibles sont généralement employés comme engrais; il faut ajouter à ces tourteaux ceux qui ayant subi des avaries ne peuvent plus être donnés au bétail, c'est ainsi que le tourteau de lin, si recherché pour l'engraissement des animaux, est employé pour les fumures lorsqu'il est moisi ou suri.

Nous empruntons à MM. Muntz et Ch. Girard (1) le tableau suivant dans lequel ils ont donné la composition et établi la valeur de divers tourteaux d'après les nombreuses analyses exécutées par divers auteurs.

(1) *Les engrais*, t. I, p. 510.

Composition et valeur de divers tourteaux de graines oléagineuses.

DÉSIGNATION DES TOURTEAUX.	AZOTE pour 100.	ACIDE PHOSPHORIQUE pour 100.	POTASSE pour 100.	HUILE pour 100.	VALEUR d'après la COMPOSITION.
					francs.
Arachides brutes	5.37	0.59	»	8.12	8.74
— décortiquées	7.51	1.33	1.50	7.90	12.52
Noix de Bancoul décortiquées	4.90	1.40	»	7.00	8.45
— de Béraf (gros)	4.89	1.45	»	7.16	8.46
— — (petit)	4.42	1.76	»	8.25	8.00
Cameline	4.93	1.87	»	9.22	8.72
Chanvre	4.91	1.90	»	6.20	8.75
Colza d'Europe	4.90	2.83	1.36	11.10	9.31
— exotique	5.40	1.90	1.25	7.25	9.55
Coprah	3.90	1.12	2.54	4.70	7.45
Coton brut	3.90	1.24	1.65	6.18	7.15
— décortiqué	6.55	3.05	1.58	16.40	12.00
— cotonnaux	3.20	1.60	»	6.10	6.05
Courge brute	6.50	2.33	»	11.50	11.30
— décortiquée	8.90	»	»	11.40	14.80
Faines brutes	3.85	1.05	0.72	4.20	6.60
— décortiquées	5.94	»	»	7.50	10.00
Glaucia	5.30	1.47	0.76	9.00	9.00
Gombo repassé	4.18	1.55	»	»	7.45
Lin	5.04	2.15	1.29	9.90	9.20
— exotique	5.40	1.06	»	»	9.30
Madia	5.06	3.40	»	15.00	9.70
Mafouraire naturel	2.65	0.90	»	13.20	4.90
— repassé	3.03	0.91	»	6.75	5.40
Moutarde blanche	5.81	2.05	»	11.80	10.15
— noire	5.15	1.67	1.20	12.10	9.05
— sauvage	4.50	1.80	»	9.00	8.05
Navette	4.63	1.65	1.46	»	8.35
Niger de l'Inde	5.00	1.72	»	5.80	8.80
Noix décortiquée	5.40	1.40	1.54	10.50	9.40
Palmiste naturel	2.40	1.20	0.55	13.50	4.45
— repassé	2.68	1.20	»	1.10	5.00
Pavot d'Europe	5.88	2.53	1.98	10.50	10.90
— de l'Inde	5.81	2.90	»	6.33	10.90
Pignon d'Inde	3.14	1.50	»	17.00	5.90
Pépins de pommes	5.84	1.17	»	9.17	9.75
— de raisins	2.31	0.70	»	10.60	4.25
Pulguères	3 04	1.00	»	»	6.00
Ravison et rabette	5.00	1.00	1.44	6.20	8.50
Ricin brut	3.67	1.62	1.12	8.25	6.80
— décortiqué	7.42	2.26	»	8.75	12.80
Sésame noir	6.34	2.03	1.45	9.70	11.10
— roux	6.14	1.60	»	11.15	10.45
— panaché	5.51	1.94	»	11.25	9.65
Baies de sureau	3.73	0.60	»	5.50	6.30
Thlaspi	3.56	»	»	»	6.30
Touloucouna décortiqué	4.37	»	»	4.46	7.60
— brut	2.68	0.86	»	10.00	4.90
Tournesol brut (Tunis)	3.27	1.40	»	10.50	6.05
— — d'Allemagne	5.47	2.13	1.17	12.20	9.75

Les tourteaux sont particulièrement en usage dans les parties de la région méridionale, là où l'eau faisant défaut pour irriguer les prairies, les animaux sont peu nombreux, et où par conséquent le fumier est rare.

Tourteau de maïs. — Avant le vote des droits d'entrée du maïs, ces grains étaient importés en France en grandes quantités, soit pour l'alimentation du bétail, soit pour transformer en alcool l'amidon qu'ils renferment. Lorsqu'on a saccharifié la farine de maïs, qu'on l'a mise à fermenter, on obtient un résidu solide qui est soumis à la pression pour en extraire l'huile, en effet, ces résidus renferment environ 10 p. 100 d'huile ; les tourteaux sont formés de matières azotées, de cellulose et de vasculose, ils présentent la teneur suivante en matières fertilisantes :

Azote	6.70
Acide phosphorique	1.50
Potasse	1.00

La vasculose qu'ils contiennent se dissout facilement dans les alcalis, elle est tout à fait comparable à celle de la paille et fournira dans le sol de l'humus. Il est à remarquer que ces tourteaux provenant d'une graine traitée par l'acide chlorhydrique ne renferment, ainsi que le montre l'analyse précédente, que de faibles quantités d'acide phosphorique, si on les emploie dans un sol pauvre en phosphates, on n'aura une fumure complète qu'en les additionnant d'engrais phosphatés.

Emploi des tourteaux. — Les tourteaux se vendent en gros pains, quand on les achète sans les soumettre à l'analyse, il est toujours plus avantageux de les acquérir en pains, et de les concasser à la ferme; les appareils destinés à pulvériser les engrais sont aujourd'hui très communs et peuvent être acquis à bon compte.

Quand on achète les tourteaux en poudre, il est indispensable de les acheter d'après leur teneur en azote, car il arrive souvent que les tourteaux sont frauduleusement additionnés de sciure de bois ou de matière sans valeur (1).

(1) Quand les tourteaux sont destinés à l'alimentation du bétail, il est nécessaire de les soumettre au contrôle d'un agronome expérimenté, afin de savoir si aux graines alimentaires on n'a pas ajouté des graines d'autres espèces exerçant souvent sur les animaux une action fâcheuse. Voyez sur ce sujet : Corenwinder et Renouard,

Dans le Midi de la France, on emploie les tourteaux réduits en poudre ; dans le Nord, il arrive souvent qu'on les mélange avec les matières fécales fermentées conservées dans les citernes et désignées sous le nom d'engrais flamand. La fumure dans la région méridionale comprend de 500 à 1000 kilos de tourteaux.

Dans les terres fortes, peu perméables à l'air, où la nitrification ne se produit que difficilement, les tourteaux produisent moins d'effet que dans les terres légères. La quantité de tourteau à distribuer s'établit d'après leur teneur en azote, en se rapportant aux quantités de fumier habituellement employées et en sachant que dans les terres légères l'azote du tourteau devient plus facilement assimilable que celui du fumier. — Si, pour betteraves par exemple, on donne 40,000 kilos de fumier à 5 kilos d'azote par tonne. Le fumier apporte 200 kilos d'azote, en prenant des arachides qui renferment 5 kilos d'azote pour 100 ; il faudrait donc prendre 10 fois moins, ce qui ferait encore 4,000 kilos, mais l'azote évoluant plus vite, une quantité moitié moindre serait en général suffisante, la fumure serait donc de 2,000 kilos environ.

Chez M. Porion, nous avons employé avec grand avantage 1,500 kilos de tourteaux de maïs à l'hectare pour betteraves, on obtenait de pleines récoltes comprises entre 40 et 50,000 kilos de Vilmorin améliorées à l'hectare ; le blé qui suivait ne recevait rien. En employant 3,000 kilos, la fumure était exagérée, les betteraves n'augmentaient plus guère de poids et l'année suivante le blé versait.

§ 182. — Résidus industriels.

Écumes de défécation. — On sait que pour clarifier les jus de betteraves, on les mêle à un lait de chaux qu'on précipite ensuite par un courant d'acide carbonique. Le précipité entraînant les matières pectiques, les albuminoïdes coagulés, est soumis à la pression pour en extraire le liquide sucré ; après cette pression, il constitue un résidu connu sous le nom d'écumes de défécation ; ces écumes très riches en carbonate de chaux sont souvent employées comme *amendements* calcaires et nous les avons déjà

Ann. agron., t. VI, p. 414 et Van den Berghe, *Tourteaux et farine de lin*, t. XVII, p. 456.

signalées (page 531), mais elles contiennent en outre diverses matières fertilisantes et doivent être de nouveau étudiées comme *engrais*.

Les écumes renferment de 0.3 à 0.4, parfois même 0.8 d'azote p. 100 : la teneur variant avec la dose d'humidité qui est habituellement de 30 à 40 p. 100; ces écumes renferment naturellement une grande quantité de chaux, la plupart du temps carbonatée, parfois cependant encore libre. La proportion d'acide phosphorique est médiocre, elle ne s'élève qu'à 0.8 à 1.5 p. 100; ces écumes sont employées avec grand avantage dans les terres fortes pour les assouplir; nous avons dit déjà que les terres du domaine de Marmilhat situées en Limagne d'Auvergne, dans le voisinage des usines de Bourdon, sont argileuses et quelquefois difficiles à travailler à l'automne : elles reçoivent depuis longtemps les écumes de la sucrerie voisine. Ces additions répétées ont fini par les rendre plus filtrantes, et il arrive souvent qu'après les grandes pluies on peut pénétrer dans les pièces deux ou trois jours plus tôt, que dans des champs voisins formés de la même terre, mais qui n'ont pas reçu une grande masse d'écumes.

Exposées à l'action de l'air les écumes perdent assez facilement leur azote à l'état d ammoniaque, il est donc avantageux de les enfouir le plus tôt possible, et si l'état des terres ne s'y prête pas, de les couvrir de terre humide pour tâcher de retenir cette ammoniaque (1).

Touraillons. — La bière se fabrique avec l'orge germée, quand l'amidon de l'orge a été transformé en dextrine et en glycose par l'action de la diastase, on procède à une dessiccation des grains, et on détache les germes qui sont apparus; ceux-ci sont généralement employés comme engrais, ils renferment d'ordinaire de 5 à 10 p. 100 d'eau, à cet état l'analyse y indique :

Azote	4 à 5.0 pour 100.
Acide phosphorique	1 2.0 —
Potasse	2 2.5 —

C'est donc un engrais d'une grande richesse, qui présente en outre l'avantage de se décomposer très aisément.

Marc de raisin. — Les marcs de raisin sont souvent utilisés

(1) Plicque, *Ann. agron.*, t. II, p. 257.

comme aliments pour le bétail; cependant, quand les vins ont été plâtrés, les marcs ne servent plus que comme engrais; la fabrication du vin de raisin sec qui a pris une grande extension dans ces dernières années a jeté sur le marché une quantité notable de marcs, ces résidus présentent la composition suivante :

Eau	De 77	à 75
Azote	0.7	0.6
Acide phosphorique	0.14	0.11
Potasse	0.6	0.4

Marc de pommes. — Dans les résidus de la fabrication du cidre renfermant de 75 à 80 p. 100 d'eau, on trouve :

Azote	De 1.1	à 2.8
Acide phosphorique	0.4	0.9
Potasse	1.2	2.6

Ces résidus deviennent facilement acides, il est avantageux de les mélanger au fumier où dominent les réactions alcalines ou d'en faire des composts en y ajoutant une petite quantité de chaux.

Eaux industrielles. — Les usines qui transforment les produits végétaux rejettent des quantités considérables d'eaux qu'il y a souvent intérêt à employer aux irrigations.

Les vinasses des distilleries présentent en moyenne par litre d'après MM. Muntz et Ch. Girard la composition suivante, qui varie suivant la matière mise en fermentation :

	Mélasses.		Grains.	Betteraves.		Pommes de terre.		Topinambours.
	gr.		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Azote	1.5 à 3.0		2.5	0.7 à 2.0		1.5 à 2.5		1.2
Acide phosph.	0.1	0.2	2.5 à 4.5	0.2	0.8	0.3	1.0	0.02
Potasse	1.8	9.0	2.6	1.5	3.0	2.5	3.5	2.87

Les vinasses de mélasses présentent comme on le voit une grande richesse en alcalis et sont souvent utilisées à la fabrication des salins; quand elles sont répandues sur des surfaces restreintes, elles leur communiquent une richesse excessive qui persiste pendant plusieurs années : on avait à l'usine de Wardrecques répandu pendant longtemps des vinasses sur des pièces qui plus tard furent rechargées de terres voisines, puis soumises à la culture; en 1885, on y sema des betteraves Vilmorin, bien qu'elles eussent été maintenues en lignes rapprochées, la richesse du sol était telle que quelques racines devinrent monstrueuses.

§ 183. — Utilisation des débris végétaux. — Terreaux.

Un cultivateur soigneux ne laisse jamais sa cour de ferme encombrée de débris, elle est soigneusement balayée, et ces balayures accumulées dans un coin sont formées : des excréments que les animaux laissent en circulant dans les cours, des débris végétaux de toutes sortes, et des terres amenées par les charrois; tous ces débris, pour peu qu'ils ne soient pas trop tassés, ne tardent pas à fermenter et à former un terreau très avantageusement employé à la fumure des jardins et des prairies.

Boussingault a écrit sur cette préparation du terreau une page qui mérite d'être rappelée :

« Que l'on destine à la préparation du terreau les gravois, les balayures, la boue, la terre des fossés, les vieux gazons, les cendres, etc..., je l'ai toujours compris : ce sont des matières terreuses utiles à la végétation, dans lesquelles il n'y a que fort peu de matières organiques. Mais qu'on y réunisse les mauvaises herbes, les pailles, les marcs de fruits, et, comme on le pratique assez fréquemment, des animaux morts, du sang, des urines, voilà ce que j'ai considéré longtemps comme éminemment désavantageux, en vertu de ce principe trop absolu peut-être, que tout ce qui est susceptible d'entrer en putréfaction, doit être jeté dans la fosse à fumier... Pendant vingt-cinq ans, j'ai critiqué, sous ce rapport, ce que l'on exécutait dans la ferme; mais pendant vingt-cinq ans, j'ai laissé faire, d'abord, parce que les résultats obtenus étaient des plus satisfaisants, et puis parce que je pensais que sur un point essentiellement pratique, sur une opération dont l'efficacité était consacrée par une expérience séculaire, l'opinion de tous les paysans valait mieux que celle d'un seul académicien.

Boussingault écrivait ces lignes dans son *Mémoire sur le terreau et la terre végétale* (1), et il y montre que la fabrication du terreau dans la ferme est très analogue à celle du salpêtre dans les nitrières artificielles très nombreuses au siècle dernier, quand on n'avait pas encore découvert et exploité les gisements de nitrate de soude du Pérou.

En cherchant les nitrates dans le terreau, l'illustre agronome en trouve, en effet, des quantités sensibles :

(1) *Agronomie*, tome II, p. 5.

	Nitrates exprimés en nitrate de potasse dans 1 kilogr. de terreau séché à l'air.
	gr.
Terreau de la ferme de Bechelbronn.....	1.51
— de feuilles de Bechelbronn.....	5.51
— de la ferme de Neunreiterhoff, près Haguenau.	0.83
— de couches d'un jardin de Verrières.....	0.94
— des maraîchers de Paris.....	1.07

On voit donc que le terreau constitue un véritable engrais, et qu'un cultivateur soigneux ne devra pas négliger d'employer à la préparation des composts tous les débris dont il dispose.

On fait usage notamment dans ces composts : des curures de fossés, d'étangs, de ports, etc., ces matières possèdent une grande différence de poids à l'état sec et à l'état humide, et on devra les laisser sécher à l'air avant de les charrier; il sera bon également de les soumettre à l'analyse avant de les utiliser, de façon à savoir si les frais qu'occasionne leur transport ne sont pas hors de toutes proportions avec leur valeur; on trouve dans les vases d'étang séchées à l'air de 0,5 à 1,8 d'azote par kilo; à l'état frais, une autre vase contenant encore 41 p. 100 d'eau accusait par kilogr. 2 grammes d'azote.

Ces terres meubles sont mélangées à des feuilles mortes, des gazons, des tiges de topinambours, de colza, et si les terres ne sont pas calcaires, à de la marne ou de la chaux éteinte, et enfin arrosées avec tous les liquides renfermant des matières azotées qu'on pourra se procurer et qui ne seront pas employes à l'alimentation des porcs.

Le but de l'opération étant la production du salpêtre, on conçoit qu'on devra essayer de réunir les conditions que nous savons être favorables à la nitrification (p. 402) : aération, humidité, apport de matières azotées, et c'est ainsi que les arrosages, même avec de l'eau quand on ne dispose pas de liquides animalisés, sont utiles; c'est ainsi également que le mélange à la masse de débris végétaux irréguliers, en permettant l'accès de l'air, favorise l'opération.

Quand le moment d'employer le compost approche, il convient de cesser les arrosages avec les matières animales, urines, etc., elles n'auraient pas le temps de se nitrifier. Il sera bon, aux moments où le personnel de la ferme n'est pas employé utilement, de faire recouper le compost quelques mois avant de le répandre.

CHAPITRE VI

ENGRAIS D'ORIGINE ANIMALE.

GUANOS. — DÉBRIS ANIMAUX.

L'étude des engrais d'origine animale comprendra trois chapitres dans lesquels nous traiterons successivement :

Des guanos et débris animaux ;

Des matières excrémentitielles et des eaux d'égout ;

Des engrais salins : nitrate de soude et sulfate d'ammoniaque.

GUANO.

On désigne sous le nom de guano, un engrais extrêmement actif provenant des déjections des oiseaux. Il y a une quarantaine d'années, quand l'emploi des engrais salins était encore peu répandu, on faisait usage de grandes quantités de guano pour activer la végétation des betteraves et du colza ; on importait à cette époque en Europe un guano de très bonne qualité, présentant une grande richesse en azote ; aujourd'hui ces sortes ont à peu près disparu, et le guano est un peu délaissé pour les engrais salins ; il est cependant encore trop employé pour ne pas mériter une étude attentive, et nous aurons à distinguer le guano du Pérou et des autres localités de l'Amérique méridionale, riche en azote, des autres variétés qui doivent surtout leur valeur aux phosphates qu'ils renferment. La plus grande partie du guano a été déposée en plein air par des oiseaux de mer, mais on trouve des dépôts analogues produits par des chauves-souris, dans les grottes ; l'étude de cette variété de guano nous conduira naturellement à celle de la *colombine* ; enfin du guano provenant des déjections des oiseaux consommateurs de poisson, nous pourrons passer à l'étude des engrais fournis par les pêcheries et nous arriverons enfin à l'exposé de la composition des divers débris animaux : sang, chair musculaire, peaux, cornes, cuirs, laines, qui terminera ce chapitre.

§ 184. — Origine du guano.

Humboldt, le premier, a observé que la côte américaine baignée par l'Océan Pacifique est parcourue par un courant d'eau relative-

ment froide qui remonte du cap Horn en se dirigeant d'abord du sud au nord, puis, à partir de la baie d'Arica, du sud-sud-est au nord-nord-ouest. Ce courant est extrêmement peuplé, et les poissons qu'il renferme ont attiré depuis un temps immémorial les oiseaux dont les déjections ont formé le guano.

« Nulle part au monde, dit Boussingault (1), auquel nous empruntons la plus grande partie des détails qui suivent, le poisson n'est plus abondant que sur la côte péruvienne. Il arrive quelquefois pendant la nuit, comme j'en ai été témoin, qu'il vient échouer sur la plage comme s'il voulait échapper à la poursuite d'un ennemi (les requins sont en effet très communs dans ces eaux).

« Un des navigateurs espagnols qui accompagnèrent, au XVIII^e^ siècle, les académiciens français à l'équateur, Antonio de Ulloa, rapporte que les anchois sont en si grande abondance sur cette côte qu'il n'y a pas d'expression qui puisse en représenter la quantité. Il suffit de dire qu'ils servent de nourriture à une infinité d'oiseaux qui leur font la guerre. Ces oiseaux sont communément appelés *guanaes*, parmi lesquels il y a beaucoup d'*alcatras*, espèce de cormoran. Quelquefois en s'élevant des îles, ils forment comme un nuage qui obscurcit le soleil. Ils mettent une heure et demie à deux heures pour aller d'un endroit à un autre sans qu'on voie diminuer leur multitude. Ils s'étendent au-dessus de la mer et occupent un grand espace; après quoi ils commencent leur pêche d'un manière fort divertissante; car se soutenant dans l'air en tournoyant, à une hauteur assez grande mais proportionnée à leur vue, aussitôt qu'ils aperçoivent un poisson, ils fondent dessus la tête en bas, serrant les ailes au corps et frappant avec tant de force qu'on aperçoit le bouillonnement de l'eau d'assez loin. Ils reprennent ensuite leur vol en avalant le poisson. Quelquefois ils demeurent longtemps sous l'eau et en sortent loin de l'endroit où ils s'y sont précipités; sans doute parce que le poisson fait effort pour échapper et qu'ils le poursuivent disputant avec lui de légèreté à nager... On a observé au Callao que les oiseaux qui se gîtent entre les îles et les îlots situés au nord du port vont dès le matin faire leur pêche du côté du sud et reviennent le soir dans les lieux d'où ils sont partis. Quand ils recommencent à traverser le port, on n'en voit ni le commencement ni la fin.

On conçoit que cette multitude d'oiseaux venant toutes les nuits se reposer sur les îles Chinchas depuis les époques les plus reculées aient pu par leurs déjections et leurs cadavres former l'immense dépôt qui a été exploité avec avantage pendant une cinquantaine d'années.

§ 185. — Composition du guano.

Le guano des îles Chincha était d'une grande richesse, car le gisement est situé à une hauteur suffisante pour n'être jamais mouillé d'eau de mer, et la pluie étant pour ainsi dire inconnue

(1) *Agronomie*, t. III.

sur cette côte, tous les principes solubles ont persisté; il n'en est plus de même pour d'autres sortes qui ne renferment guère que des matières terreuses, les sels ammoniacaux ayant été entraînés par les eaux.

Le guano des îles Chincha présentait à l'analyse élémentaire les nombres suivants :

Azote total	14.29
Phosphate soluble	6.76
— insoluble	19.52

A l'analyse immédiate, on trouve de l'urate d'ammoniaque et de chaux, de l'oxalate d'ammoniaque, du phosphate d'ammoniaque et de chaux.

Il n'y a guère que le guano du Pérou qui présente une richesse en azote oscillant autour de 14 à 15 centièmes ; le guano du Chili n'en contient plus guère que de 5 à 7 ; enfin les guanos des localités où la pluie est fréquente n'en contiennent plus que quelques millièmes, tels sont les guanos des îles du Pacifique, connus sous le nom de guano *de Baker ou de Jèrvis*.

Il y a une quinzaine d'années, on recevait en France des quantités notables de guano de Macabi et de Guanape. Ils présentaient, d'après Barral et Bobierre, la composition suivante établie sur la moyenne de 200 chargements :

Guano Macabi.....	Azote	11.72
	Acide phosphorique	12.52
— Guanape...	Azote	10.88
	Acide phosphorique	13.86

Ces produits sont maintenant à peu près épuisés, on exploite actuellement des localités plus méridionales situées entre 20° et 22° de latitude sud.

MM. Muntz et Girard leur assignent la composition suivante (1) :

	Pour 100.			Lobos
	Pabellon.	Huanillos.	Punta de Lobos.	de Afuera.
Eau.....	8.63 à 14.28	13.69 à 16.35	8.09 à 8.71	»
Azote.....	8.22 à 9.81	7.51 à 8.05	5.09 à 6.79	3.5 à 4.5
A. phosphorique ..	12.68 à 14.76	14.30 à 15.00	15.50 à 20.20	20.0 à 25.0

La plus grande partie de l'azote est à l'état ammoniacal ; quand, en effet, on pénètre dans un magasin où séjournent des guanos,

(1) *Les engrais*, t. II, p. 248.

l'odeur est insupportable. Cet engrais est souvent chargé en vrac dans les bâtiments : les hommes qui procèdent au déchargement sont obligés très fréquemment de remonter sur le pont pour respirer un air moins nauséabond que celui des cales.

Perte d'ammoniaque par exposition à l'air. — L'odeur très forte qu'exhale le guano indique que par son exposition à l'air il perd une quantité notable d'ammoniaque. Bobierre a trouvé qu'un guano renfermant 10,55 d'azote total dont 4,18 d'azote ammoniacal, exposé à l'air pendant un mois, avait perdu 4 centièmes de l'azote qu'il renfermait; cette perte peut être évitée en mélangeant le guano avec du noir animal en poudre fine.

Les pertes d'ammoniaque sont d'autant plus abondantes que le guano est plus exposé à l'humidité. Quand, notamment, le guano a été mouillé pendant la traversée, il perd une partie de son azote ammoniacal. Nesbit avait trouvé dans un même chargement les nombres suivants pour 100 parties de guano :

	Non altéré.	Altéré.	Très altéré.	Mouillé.
Azote.....	14.3	11.3	9.9	8.4

Réactions diverses qui rendent soluble le phosphate de chaux du guano. — Si le guano renferme des sels ammoniacaux solubles dans l'eau, il contient aussi une proportion notable de phosphate de chaux insoluble et l'on pourrait être étonné de son efficacité, puisqu'un seul des deux principes actifs des engrais s'y rencontre à l'état assimilable, si l'on n'avait étudié les réactions qui se produisent entre les différents éléments qu'il présente. Cette réaction s'établit entre le phosphate de chaux, et les deux sels ammoniacaux carbonate et oxalate ; il se produit entre ces sels ammoniacaux et le phosphate de chaux un double échange qui amène l'acide phosphorique à l'état de phosphate d'ammoniaque soluble. C'est ce qu'il est facile de montrer dans un cours ; en faisant une infusion de guano à l'ébullition et filtrant, on trouve en dissolution une quantité notable d'acide phosphorique dissous ; par refroidissement, le liquide laisse cristalliser de l'oxalate d'ammoniaque.

Si on épuise le guano à froid, puis qu'on fasse ensuite bouillir le résidu, on ne trouve plus dans le liquide filtré d'acide phosphorique en dissolution ; l'oxalate d'ammoniaque ayant été enlevé, la réaction qui amenait l'acide phosphorique à l'état de phosphate d'ammoniaque ne peut plus se produire.

Traitement par l'acide sulfurique. Guano dissous. — La com-

position du guano est irrégulière, les manipulations en sont difficiles, on ne peut pas faire passer aisément le guano dans des appareils pulvérisateurs, car il forme des pâtes qui adhèrent aux broyeurs, une partie de l'ammoniaque se dégage à l'air, enfin une partie du phosphate de chaux qu'il renferme est insoluble. C'est pour éviter tous ces inconvénients que, depuis longtemps, on a mêlé l'acide sulfurique au guano, on obtient ainsi une poudre à faible odeur, renfermant du sulfate de chaux qui donne à la masse assez de cohésion pour être broyée et, par suite, présenter une composition homogène qui permet les ventes à titre garanti. Les guanos ainsi traités renferment du sulfate d'ammoniaque et du superphosphate de chaux et se confondent comme efficacité avec les engrais salins. Les guanos dissous contiennent de 5 à 9 centièmes d'azote et de 9 à 10 d'acide phosphorique soluble.

Falsifications du guano. — Le guano ne doit jamais être acheté qu'à l'analyse, car, comme toutes les matières en poudre, il est l'objet de nombreuses falsifications ; les plus fréquentes sont dues à du sable, de l'eau, ou encore quand le guano est vendu à haut prix, à l'addition de sulfate d'ammoniaque et de phosphate de chaux minéral, qui permet au marchand de vendre l'azote du sulfate d'ammoniaque, l'acide phosphorique du phosphate, à un prix plus élevé que celui qu'ils obtiendraient sous leur forme habituelle. Quand le guano est naturel, la fraude est assez facile à déceler, par le dosage de l'acide sulfurique, rare dans le guano normal ; la présence d'une grande quantité de chlore conduirait également à soupçonner que le guano a été additionné de chlorhydrate d'ammoniaque.

Quand le guano est vendu comme guano dissous il n'est plus possible de découvrir la fraude consistant dans l'addition de sulfate d'ammoniaque, mais dans ce cas la matière n'a plus de propriétés différentes de celles d'un mélange de sulfate d'ammoniaque et de superphosphate et ne doit pas être payée à un prix plus élevé que ne le comporte sa teneur en azote et en acide phosphorique, de façon que les falsifications cessent puisqu'elles deviennent sans objet.

§ 186. — Guano de chauves-souris.

Les chauves-souris de grande taille qui habitent les régions tropicales se réfugient pendant le jour dans des grottes où s'accumulent d'importants gisements de guano.

Nous empruntons à MM. Muntz et Girard le tableau suivant indiquant la composition de ces engrais.

Guano de chauves-souris.

	Azote total.	Phosphate de chaux.	Humidité.	Matières siliceuses.	Ac. nitrique.	Analystes.
Arkansas, dépôt ancien ...	2.94	14.69	6.74	42.30	1.80	Vœlcker.
— — nouveau..	8.80	8.21	33.53	4.69	8.40	
Venezuela (guano pulvérulent).....	9.84	8.09	18.50	»	0.00	Muntz et Marcano.
Venezuela (guano pâteux)..	4.33	33.00	13.80	»	7.20	
Jamaïque.....	1.26	»	23.07	5.98	»	
Bahama.....	1 à 3	27 à 46	23 à 31	1 à 5	1 à 4	Vœlcker.
Espagne.....	5 à 9	10 à 12	18.50	14.00	6.00	
Sardaigne.....	8.61	3.40	15.18	3.55	»	Bobierre.
France.....	12.03	8.30	»	»	»	Hardy.
	8.80	7.40	16.10	30.00	»	H. Mangon.
Algérie.....	3.67	8.87	15.60	»	»	Gérardin.

Les guanos d'hirondelle contiennent jusqu'à 11,25 p. 100 d'azote.

§ 187. — Colombine.

On désigne sous ce nom les déjections des animaux de basse-cour ; elles renferment en centièmes :

	Pigeons.	Poules.	Canards.	Oies.
Azote.....	1.0 à 5.0	1.49 à 0.60	0.70	0.53
Acide phosphorique.....	0.4 à 1.8	2.00 à 0.61	1.50	0.40
Déjections totales produites en un an par un oiseau.....	kil. 2.5 à 3.0	kil. 6.00	kil. 8 à 9	kil. 11 à 12

§ 188. — Guanos phosphatés.

Sur un grand nombre de points où gitent les oiseaux de mer, la pluie est fréquente, ou encore, les vagues déferlent pendant les tempêtes et les guanos perdent presque toutes leurs matières solubles, ils ne valent plus guère que par les phosphates terreux qu'ils renferment. Wœlcker a donné la composition d'un grand nombre de ces phosphates, nous résumons ses dosages dans le tableau suivant (1) :

(1) *Ann. agr.*, t. II, p. 493.

Origine.	Azote.	Phosphate de chaux et de magnésie.
Mejillones	0.9	70
Iles Falkland	4.3	27
Patagonie	0.9	23
Curaçao	»	69
Baker	0.5	66
Jarvis	»	52
Shaw (Océan Pacifique)	»	77
Malden	»	73
Euderburg	»	83
Ile de Starbuch	»	95

Ces matières sont surtout employées après traitement par l'acide sulfurique qui amène leur acide phosphorique à l'état soluble.

§ 189. — Engrais de poisson.

Les résidus des pêcheries sont des engrais actifs; ils sont bien loin d'être utilisés complètement.

Plusieurs usines ont été installées à Terre-Neuve où se préparent d'énormes quantités de poisson, où, par conséquent, les détritus sont abondants; à Concarneau, aux îles Loffoden, dans la Norvège septentrionale, on a aussi fabriqué des engrais de poisson. Les procédés à employer consistent presque toujours à faire agir sur les débris de poisson de la vapeur portée à une pression de plusieurs atmosphères; les débris perdent leur huile, deviennent durs et cassants et sont réduits en poudre dans un moulin.

La composition de ces engrais est naturellement variable, on y trouve de 7 à 8 p. 100 d'azote et de 15 à 25 de phosphates.

L'odeur de ces engrais est très forte, elle attire les rongeurs qui paraissent très friands de ces substances infectes.

Actuellement, il existe en France des fabriques qui traitent les résidus de poisson par l'acide sulfurique, puis saturent l'acide employé en excès par des phosphates minéraux; on produit ainsi un engrais qui, desséché et pressé, perd de l'huile et donne un tourteau dont la composition est variable, on y trouve de 3 à 6 centièmes d'azote, de 8 à 9 centièmes de phosphate total.

Quand on songe à l'immense quantité de poissons non comestibles que renferme la mer, aux prix élevés qu'atteignent les engrais dont nous venons d'indiquer le mode de fabrication, on doit penser que la pêche des poissons destinés à la fabrication des engrais prendra un jour un grand développement.

§ 190. — Sang desséché.

Le sang se corrompt si facilement que pour l'employer comme engrais il faut toujours lui faire subir une préparation. Habituellement, on coagule l'albumine du sang à l'aide d'un courant de vapeur, on fait agir également sur le sang du sulfate de peroxyde de fer, obtenu en ajoutant à du sulfate de protoxyde de fer, du nitrate de soude et de l'acide sulfurique; la coagulation est très rapide, il ne se dégage aucune odeur fétide; la masse, desséchée dans des étuves, est pulvérisée; on trouve en moyenne dans le sang desséché de 10 à 12 p. 100 d'azote, de 0,5 à 1,5 d'acide phosphorique de 0,6 à 0,8 de potasse.

M. Petermann a exécuté sur l'efficacité du sang desséché une série d'expériences intéressantes; il s'en est servi sur une terre argileuse et sur du sable pour soutenir une culture de blé; en donnant à des pots renfermant 4 kilogrammes de terre $0^{gr},25$ d'azote à l'état de sang ou de nitrate de soude, du phosphate précipité et des sels de potasse, il a obtenu en grains de blé :

	Terre argileuse.	Sable.
Sang, phosphate, potasse.....	19.44	12.19
Nitrate de soude, phosphate, potasse..	19.80	12.98

M. Petermann ajoute à ses essais les réflexions suivantes:

« Sec, friable, pulvérulent, le sang desséché se prête facilement à l'emballage, au transport et à toutes les manipulations qu'exige son emploi agricole, telles qu'épandage à la main ou à la machine. » C'est un engrais actif et commode à employer.

Il est probable qu'on se décidera un jour à utiliser le sang des nombreux animaux abattus dans la République Argentine; en le faisant absorber aux cendres des os de ces mêmes animaux, on constituerait un engrais de grande valeur.

§ 191. — Chair desséchée.

En Europe la chair est préparée pour engrais avec des chevaux ou d'autres animaux qui ne peuvent fournir une viande alimentaire.

Les animaux sont dépecés, en gros morceaux, que l'on arrange dans de grandes caisses ou cuves en bois qui peuvent contenir jusqu'à trente ou trente-six chevaux, puis on y fait arriver un jet de

vapeur d'eau. La cuisson dure de dix à quatorze heures, la masse abandonnée au repos fournit trois couches liquides.

La couche supérieure est formée de graisse, qui peut être livrée aux savonneries, la couche moyenne est une eau chargée de gélatine : la couche inférieure est un mélange de sang et de chair ; après dessiccation, elle renferme encore 8 à 9 p. 100 d'eau, 13 p. 100 d'azote, et à peu près 2,4 de phosphate de chaux.

En 1879, j'ai essayé à Grignon l'emploi des déchets de viande provenant d'une usine de Saint-Denis. Les résultats n'ont pas été très avantageux : sur les pommes de terre, l'effet a été nul ; pour le maïs-fourrage qui, cette année-là, a donné, sous l'influence du fumier, 80,000 kilog. de fourrage vert à l'hectare, tandis que sans engrais on n'en obtenait que 22,000, l'engrais de viande a fourni seulement 36,000 et 33,000 kilog. Sur l'avoine, l'effet a été plus marqué : tandis que sans engrais on n'obtenait que $10^{qtm},50$ de grain et $38^{qtm},50$ de paille, l'engrais de viande poussait la récolte à 17^{qtm} et $17^{qtm},5$ de grain, 40 et 43 quintaux de paille.

Au reste, ce n'est pas pendant l'année où il a été distribué, que l'engrais de viande a produit le maximum d'effet; en 1880 le maïs fourrage sans engrais donnait 38,400 kilog. de fourrage vert, tandis qu'on en obtenait 47,300 et 46,000 sur les parcelles qui avaient reçu les déchets de viande l'année précédente.

Les parcelles qui avaient reçu, en 1879, les engrais de viande pour pommes de terre furent emblavées en blé à l'automne, elles fournirent 34 quintaux de grain et 44 quintaux de paille, tandis que la parcelle qui, en 1879, était restée sans engrais ne donnait que 23 quintaux de grain et 37 quintaux de paille.

Cette culture de blé fut encore maintenue sur ces mêmes parcelles en 1881, car elle avait précisément été disposée pour suivre les effets des résidus laissés par les fumures précédentes. Or, les parcelles fumées à l'engrais de viande en 1879, restées sans addition depuis, donnèrent 23 quintaux de grain contre 16,4 fournis par la parcelle sans engrais en 1879. L'effet de l'engrais de viande se poursuit donc pendant plusieurs années.

La viande a été l'objet de diverses transformations. M. Rohart avait essayé d'en fabriquer des tourteaux ; plus tard, M. Boucherie proposa de la traiter par l'acide chlorhydrique (1).

Bien que les cadavres des animaux doivent être considérés comme

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série, t. XIII, p. 193.

un engrais efficace, les cultivateurs savent aujourd'hui combien il est dangereux de mettre au fumier ou même d'enfouir dans le sol sans précautions, les animaux morts de maladies infectieuses et notamment du *charbon*.

Les germes de cette maladie persistent dans le sol pendant des années, sont remontés à la surface par les vers de terre, et se communiquent aux animaux qui paissent au-dessus des fosses où les cadavres charbonneux ont été enfouis, surtout quand ces fosses sont couvertes de chaumes, dont les arêtes piquantes font à l'animal de légères blessures par lesquelles les germes pénètrent dans l'organisme. Cette persistance des germes dans le sol explique très clairement les observations qu'ont faites depuis un temps immémorial les bergers, de l'existence de *montagnes dangereuses* et de *champs maudits*.

Il est à remarquer toutefois que les germes ne persistent que pendant un nombre d'années limité. Dans les admirables recherches qu'il a exécutées sur le charbon et qui ont permis, par la vaccination, de préserver nos troupeaux de cette terrible maladie, M. Pasteur avait reconnu que des troupeaux parqués sur des champs contaminés depuis quelques années, n'avaient contracté aucune maladie dans quatre cas, mais que dans le cinquième la mortalité avait été de 4 p. 100 (1).

Bien que, grâce aux vaccinations, la maladie charbonneuse soit appelée à disparaître, il importe de détruire complètement les cadavres des animaux atteints du charbon. M. Aimé Girard a proposé de les utiliser de la façon suivante : on les plonge dans l'acide sulfurique à 60° employé en quantité suffisante pour les noyer complètement ; après vingt-quatre heures la dissolution est complète ; les muscles, le sang, les viscères, les poils, les os, tout a disparu et l'acide est transformé en un sirop noir où surnagent quelques matières grasses liquéfiées ; le dépôt léger qui se forme au fond du liquide ne possède aucune virulence.

Avec 321 kilog. d'acide sulfurique a 60°, M. Aimé Girard a pu traiter ainsi, dans l'espace de dix jours, neuf moutons dont le poids s'élevait à 204 kilog. Des 525 kilog. de matière obtenue, on a retiré 25 kilog. de graisse et 500 kilog. d'une masse acide qui a été saturée par des phosphates fossiles des Ardennes ; on a préparé ainsi un superphosphate titrant 0,36 d'azote, 5,06 d'acide phospho-

(1) *Comptes rendus*, t. XCI, p. 86 et 697.

rique soluble, valant plus que les produits achetés et pouvant être facilement répandu (1).

§ 192. — Débris de laine.

On emploie depuis longtemps comme engrais dans diverses régions et particulièrement dans les pays vignobles, les chiffons de laine. Dans l'Hérault, le prix du chiffon varie avec celui du vin. En 1860, année de cherté, le chiffon a valu de 18 à 20 francs; en 1864, le prix était tombé à 11 francs. Ce chiffon de laine se consomme lentement dans le sol, son action dure plusieurs années et on conçoit qu'on ait trouvé avantageux d'en hâter les transformations : c'est ce à quoi on réussit, en soumettant la laine soit à l'action de l'acide sulfurique, soit à celle de la vapeur surchauffée ; on dessèche le produit qui est désigné sous le nom de laine dissoute. Elle forme une poudre couleur brun foncé, presque noire, assez hygroscopique, douée d'une odeur caramélisée et presque entièrement soluble dans l'eau.

M. Petermann a exécuté divers essais comparatifs avec la laine brute, la laine dissoute et le nitrate de soude; il a obtenu les résultats suivants, pour des cultures de froment disposées dans une terre argileuse :

	Poids des grains de blé obtenus.
Laine brute renfermant 0^{gr},25 d'azote, phosphate précipité	17^{gr},59
Laine dissoute renfermant 0^{gr},25 d'azote, phosphate précipité	19 ,81
Nitrate renfermant 0^{gr},25 d'azote, phosphate précipité	20 ,49

Pour les betteraves, les essais ont été faits en pleine terre. on a employé sur chaque parcelle la valeur de 75 kilog. d'acide phosphorique et de 60 kilog. d'azote à l'hectare, on a obtenu les résultats suivants :

Engrais employés.	Rendements à l'hectare.	Augmentation en kilogr.	Augmentation en centièmes.	Richesse en sucre des racines.
Sans engrais.....	23.373	»	»	13.09
Laine brute.....	31.744	3.271	11.4	13.32
— dissoute.....	37.408	8.835	30.9	12.52
Nitrate de soude...	42.201	13.631	47.7	12.17

(1) *Comptes rendus*, t. XCVII, p. 74 et 736.

Ces expériences démontrent que la transformation de la laine brute en laine dissoute augmente beaucoup son efficacité ; en même temps, ainsi qu'il arrive souvent pour les races de betteraves de qualité médiocre, l'engrais azoté, efficace, diminue la richesse en sucre.

Azotine. — Les vêtements de laine hors d'usage sont soumis à une préparation mécanique qui permet de séparer les fibres, de les retisser de nouveau et d'en faire de médiocres étoffes, connues sous le nom de renaissance.

Quand les étoffes sont faites d'un mélange de fibres végétales et animales, elles ne peuvent être effilochées ; on les utilise aujourd'hui en les soumettant à l'action de de la vapeur d'eau agissant sous pression, la laine et la soie se dissolvent donnent une matière brune facile à sécher, désignée sous le nom d'*azotine;* les fibres végétales restées insolubles sont vendues aux fabricants de papier.

L'azotine renferme de 9 à 12 p. 100 d'azote, elle est fort analogue à la laine dissoute.

§ 193. — Engrais de cuir.

Les cuirs sont également employés, soit simplement après pulvérisation, soit après avoir subi un traitement plus énergique propre à les désagréger. Ils renferment de 7 à 8 p. 100 d'azote.

Ces engrais sont en général d'une décomposition assez lente, c'est ce qui résulte des essais suivants exécutés au champ d'expériences de Grignon.

On a employé sur la culture des pommes de terre, en 1879, l'engrais de cuir, le résultat a été médiocre ; tandis que la parcelle sans engrais donnait 224 hectolitres de tubercules à l'hectare, on en obtenait 295 avec 2,000 kilog. d'engrais de cuirs et 277 avec 1,000 kilog. seulement. L'année suivante ces mêmes parcelles portèrent du blé et ne reçurent aucune nouvelle fumure ; on obtint de la parcelle restée sans engrais les années précédentes : 25^{qtm} de grain et $37^{qtm},25$ de paille, tandis que les carrés qui avaient reçu les engrais de cuir en 1879 donnèrent l'un $27^{qtm},5$ de grain, l'autre 25 quintaux avec 40 et $37^{qtm},9$ de paille ; l'engrais n'a donc exercé pendant cette seconde année aucune influence sensible. Il n'en fut plus ainsi en 1881 : tandis que la parcelle restée toujours sans engrais ne donnait que $16^{qtm},4$ de grain et $20^{qtm},5$ de paille, on recueillait sur les carrés fumés en 1879 avec les engrais de cuir, $23^{qtm},4$ et 23 quintaux de grain avec $38^{qtm},7$ et $37^{qtm},6$ de paille.

M. Petermann (1) a disposé également plusieurs expériences pour fixer la valeur que présente, comme engrais, le cuir moulu : sur une petite culture d'avoine en pots, on a obtenu, sans engrais, 6^{gr},20 de grain, tandis que le cuir moulu employé seul a donné 6^{gr},95 ; 7^{gr},50 quand on a donné avec le cuir du phosphate précipité ; et à peu près le même chiffre quand à ces deux engrais est venu s'ajouter du chlorure de potassium.

Sur des fèverolles, en pleine terre, l'essai a été un peu plus favorable, ainsi qu'il résulte du résumé suivant :

Engrais employé.	Produit obtenu.		
	Tiges et gousses. kilogr.	Grains. kilogr.	Grains à l'hectare. kilogr.
Sans engrais.....	9.869	1.131	942.5
Cuir moulu.....	12.822	1.178	981.7
Nitrate de soude...	11.465	2.035	1695.9

En opérant plus en grand sur des betteraves, on a obtenu à l'hectare :

Sans engrais	34.800	kilogr.
Avec phosphates.....	34.340	—
Avec cuir moulu et phosphate.....	37.093	—
Avec nitrate et phosphate.....	43.093	—

L'influence des engrais n'a pas été sensible sur la teneur en sucre des betteraves ; la plus-value de la seule récolte obtenue sous l'influence du cuir n'a pas été suffisante pour payer la dépense qu'a occasionnée son acquisition.

Il n'y a rien là qui puisse étonner ; puisque nous avons reconnu plus haut, que l'effet de cet engrais était assez lent, mais se prolongeait pendant plusieurs années.

§ 194. — Classification des engrais animaux.

On voit que tous les engrais d'origine animale sont bien loin d'exercer sur la végétation la même action et que leur analyse élémentaire notamment leur teneur en azote, ne permet pas de prévoir leur efficacité ; il est visible, d'après les résultats exposés dans les paragraphes précédents, qu'il serait tout à fait irrégulier d'attribuer, dans tous ces engrais, le même prix, au kilogr. d'azote, et qu'il convient, pour apprécier leur valeur, de chercher

(1) *Ann. agr.*, t. VII, p. 217.

comment cet azote agit sur diverses cultures ; enfin comme la plupart du temps, dans une terre en bon état, les nitrates sont de beaucoup l'engrais le plus efficace, il était naturel de prendre comme mesure de l'efficacité de ces engrais leur aptitude à la nitrification.

C'est ce qu'ont exécuté MM. Muntz et Girard (1).

Les engrais employés présentaient la composition suivante :

	Azote pour 100.
Sulfate d'ammoniaque	20.40
Sang desséché en poudre	11.92
Corne torréfiée	13.66
Viande desséchée de commerce	11.08
Tournure de cornes	14.06
Poudrette	2.30
Cuir torréfié	7.18
Râpure de cornes	12.54
Chiffons de laine	12.54

Nous résumons les résultats de quelques-unes de leurs expériences dans le tableau suivant qui donne la quantité d'azote nitrifié pour 100 d'azote introduit dans une terre légère, maintenue humide à une température de 15 à 20°.

Azote nitrifié pour 100 d'azote introduit.

	Exp. n° 1. — 30 jours.	Exp. n° 2. — 39 jours.	Exp. n° 3. — 32 jours.	Exp. n° 4. — 195 jours.
Sulfate d'ammoniaque..	75.00	83.76	»	69.67
Sang desséché.....	72.44	73.56	84.50	41.95
Corne torréfiée.....	71.03	73.17	46.82	31.60
Viande desséchée.....	70.40	66.15	59.20	»
Tournure de cornes....	55.50	72.16	57.86	»
Poudrette.....	18.14	14.91	»	13.96
Cuir torréfié.....	11.62	16.47	13.26	10.70
Râpure de cornes.....	0.30	0.13	»	»

On a encore mis en expériences à la dose de 0,5 gr. d'azote pour 2 kilogr. de terre quelques autres engrais qui ont été placés pendant soixante-dix jours dans les mêmes conditions que précédemment : ces nouvelles expériences ont porté sur de la colombine de chauve-souris du Venezuela (A) renfermant 18,45 d'azote pour 100, sur un autre échantillon (B) dosant 11,10 d'azote ; sur des sauterelles d'Algérie desséchées à l'air et grossièrement moulues provenant de l'invasion de 1889 ; elles contenaient 9,50 pour 100 d'azote ; enfin

(1) *Ann. agr.*, t. XVII, p. 290.

des hannetons desséchés à l'air, grossièrement moulus, et qui renfermaient 10 pour 100 d'azote, on a trouvé :

	Acide nitrique formé.
Sang desséché	0gr,734
Viande desséchée	0 ,737
Colombine de chauves-souris A	1 ,003
— — B	0 ,993
Sauterelles d'Algérie	1 ,022
Hannetons	0 ,775

L'azote de la colombine, celui des sauterelles se nitrifie donc avec une extrême facilité.

MM. Muntz et C. Girard ont complété ces intéressantes recherches en mettant en expériences les différents engrais dans des terres de diverses natures de façon à savoir comment ils s'y comportent. Nous reproduisons, dans le tableau suivant, les résultats obtenus :

Azote nitrique formé dans diverses terres par les engrais.

Nature de l'engrais.	Terre légère de Joinville. gr.	Terre crayeuse de Champ. gr.	Terre de jardin. gr.	Terre très forte argilo-calcaire. gr.	Terre acide de Bretagne. gr.	Terre acide de Bretagne marnée. gr.
Sulfate d'ammoniaque.	2.690	1.780	»	0.051	»	»
Sang	1.620	0.725	»	0.036	»	0.500
Tournure de cornes	»	0.675	2.110	0.024	»	»
Corne torréfiée	1.220	»	1.080	0.029	»	0.515
Cuir torréfié	0.413	0.240	0.550	0.036	»	»
Guano	2.095	»	2.110	0.070	»	0.461
Poudrette	0.539	0.700	0.750	0.046	»	»
Fumier de vaches	1.092	0.686	0.550	0.269	0.662	»
Lupin (engrais vert)	1.842	0.430	1.210	0.880	0.236	»

Les auteurs ont donc reconnu que la terre légère de Joinville était celle qui se prêtait le mieux à la nitrification, ils ajoutent ensuite :

« Quant aux craies de Champagne, on sait quels effets y donnent les fumures organiques et cependant nous les voyons bien inférieures aux terres légères au point de vue de l'aptitude à nitrifier ; leur perméabilité, quoique très grande, n'est pas aussi parfaite que celle de la terre de Joinville.

« La terre de jardin dont l'ameublissement est entretenu par de fortes proportions de débris organiques nitrifie énergiquement.

« Quant à la terre forte, malgré la proportion sensible de calcaire qu'elle renfermait, elle n'a donné naissance qu'à de petites quantités de nitrates ; les engrais organiques y sont restés pour ainsi dire inertes. Il faut faire une exception cependant pour les engrais volumineux comme le fumier et l'engrais vert qui ont nitrifié assez abondamment. C'est à la perméabilité que donnent ces engrais volumineux, à la division mécanique qu'ils établissent entre les

particules argileuses qu'on doit attribuer cette différence d'action; les propriétés de ces terres fortes ont été en quelque sorte neutralisées par cet apport de débris végétaux et la nitrification a pu s'établir d'une façon presque normale, alors qu'avec les engrais plus concentrés, elle était sensiblement nulle. Mais, même avec ces derniers, la matière organique avait subi une décomposition et l'azote ne pouvant pas se transformer en nitrate se trouvait dégagé de la matière carbonée à l'état d'ammoniaque.

« Aussi pour le sang, la corne, le cuir torréfié, le guano, etc., a-t-on trouvé des quantités d'ammoniaque variant de 100 à 300 milligrammes par kilogramme de terre. Il y avait donc là une fermentation ammoniacale bien plutôt qu'une fermentation nitrique et la quantité d'ammoniaque formée était à tel point considérable qu'on peut se demander si elle n'eût pu agir défavorablement sur la végétation. Il y a donc plus d'intérêt à donner aux terres très fortes des engrais organiques pauvres et volumineux que des engrais concentrés, riches en azote.

« La terre acide, comme on devait s'y attendre, n'a pas nitrifié les engrais animaux; on sait que l'alcalinité du sol est une condition indispensable à la formation des nitrates. Le fumier de vaches donne cependant de notables quantités d'acide nitrique. Ce fait est dû à son alcalinité propre, aux carbonates alcalins qu'il renferme... »

MM. Muntz et Girard ne se sont pas bornés à prévoir au laboratoire comment les divers engrais animaux nitrifiaient l'azote qu'ils renferment, les auteurs ont en outre employé ces engrais animaux à soutenir deux récoltes successives de maïs-fourrage. Ces engrais étaient employés en quantités telles que chaque are du champ d'expériences reçut $1^k,250$ d'azote. Nous rapportons les nombres qui représentent les poids de la récolte sèche de l'année 1888, de l'année 1889 et l'ensemble des deux récoltes; le nitrate de soude a donné, en 1888, 797 kilog. de fourrage vert à l'are et 287 kilog. l'année suivante, la première récolte est donc bonne et la deuxième faible; faiblesse due non seulement à l'épuisement de l'engrais, mais aussi à l'absence d'humidité, la saison ayant été très sèche.

Maïs, fourrage récolté à l'are (matière sèche).

	1888. kilogr.	1889. kilogr.	Ensemble. kilogr.
Nitrate de soude	143	47	190
Sulfate d'ammoniaque	141	47	188
Sang desséché	130	48	178
Corne torréfiée	123	52	175
Tournure de cornes	146	47	193
Râpure de cornes	130	54	184
Poudrette	99	40	139
Cuir torréfié	91	61	152

Chiffons de laine.....	89	41	130
Fumier de mouton.....	102	41	143
— de vaches.....	93	49	142
Luzerne (engrais vert).....	143	47	190
Sans engrais.....	59	43	102

On voit qu'en général l'ordre d'efficacité des engrais est aussi celui de leur aptitude à la nitrification établie dans les tableaux précédents; la râpure de cornes fait seule exception, elle a très mal nitrifié dans les deux expériences 1 et 2 et a cependant donné de très bonnes récoltes; sa nitrification est probablement lente à établir; on remarquera que pendant la seconde récolte le cuir torréfié se place au premier rang, tandis qu'il était à l'avant-dernier en 1888, c'est donc encore un engrais très lent; c'est aussi ce que j'ai obtenu à Grignon, ainsi qu'il a été dit (page 619).

Il est visible que les engrais d'origine animale d'une décomposition lente finissent cependant par agir dans le sol, mais quelquefois après plusieurs années, ceux qui sont dans ce cas (laines, cuir, etc.), conviennent particulièrement aux cultures permanentes, telles que les vignes. S'il est impossible d'indiquer plus complètement que nous venons de le faire quelle nature d'engrais animal il convient d'employer dans tel ou tel sol, il est très utile d'essayer ces divers engrais et de ne fixer son choix définitif qu'après ces essais; j'ai vu souvent des cultivateurs trouver de très grands avantages à l'emploi d'un de ces engrais animaux; sur des terres pauvres des environs de Rambouillet, qui paraissaient ne pouvoir porter utilement que du bois, M. Berthault a obtenu des récoltes moyennes de 25 hectolitres de froment avec des fumures de viande.

On conçoit cependant que la lenteur d'action de quelques engrais animaux diminue beaucoup leur valeur marchande et que par suite il puisse être avantageux dans les localités où la houille est à très bas prix d'utiliser ces résidus azotés, à la fabrication du sulfate d'ammoniaque, en les calcinant au rouge en présence de chaux sodée, comme l'a proposé M. L'Hôte il y a déjà plusieurs années (1). L'on pourrait encore dissoudre les matières animales dans de l'acide sulfurique de façon à transformer leur azote en sulfate d'ammoniaque; en saturant l'excès d'acide par de la poudre de nodules, comme l'a fait M. Aimé Girard pour les liquides qui ont servi à détruire les animaux morts de maladie infectieuse, on aurait un engrais très actif et d'une fabrication peu coûteuse.

(1) *Comptes rendus*, t. LXXVII, p. 1085.

CHAPITRE VII

EMPLOI AGRICOLE DES MATIÈRES EXCRÉMENTITIELLES.

Nous traiterons successivement, dans ce chapitre, de l'emploi direct des matières des vidanges, en usage dans quelques parties de la France, notamment dans le département du Nord, dans quelques-uns de nos départements du Midi et, sur une très grande échelle, en Chine.

Cette première partie de ce chapitre comprendra les paragraphes suivants :

§ 195. — Composition des déjections de l'homme.

§ 196. — Emploi des matières fécales : engrais flamand.

Dans la plupart des contrées, cependant, les cultivateurs éprouvent une répugnance invincible à faire usage de ces engrais et les matières sont employées à diverses fabrications qui sont exposées dans deux paragraphes :

§ 197. — Fabrication de la poudrette.

§ 198. — Utilisation des eaux vannes à la fabrication du sulfate d'ammoniaque.

A mesure que deviennent plus précises, plus impérieuses les prescriptions de l'hygiène, à mesure aussi apparaît plus clairement la nécessité de ne pas maintenir le système des fosses fixes établies dans nombre de grandes villes et notamment à Paris, mais d'y substituer l'écoulement immédiat, dans les égouts, des matières excrémentitielles; le procédé qui tend actuellement à se répandre se traduit par la phrase fameuse de « *tout à l'égout* ». Ce procédé étant appliqué, il reste à savoir que faire des liquides chargées de ces matières excrémentitielles, du *sewage*, comme disent les Anglais, or ce sewage ne peut être déversé dans les cours d'eau sans faire courir aux riverains de sérieux dangers sur lesquels il importe d'insister; il doit au contraire être employé aux irrigations; de là deux questions qui sont exposées dans les paragraphes suivants :

§ 199. — Inconvénients du déversement des vidanges dans les cours d'eau.

Emploi des eaux d'égout aux irrigations.

Ce sujet comporte lui-même les paragraphes suivants :

Emploi des eaux d'égout aux irrigations en Angleterre.

§ 200. — Emploi des eaux d'égout à Gennevilliers.

Quand ce mode d'emploi aura été exposé, il restera à indiquer, comment se produit la :

a. Purification des eaux par leur passage au travers du sol.

Quel est l' :

b. État sanitaire des localités où sont déversées les eaux d'égout.

Enfin il nous restera, pour épuiser ce sujet, à exposer le procédé d'utilisation des matières des vidanges qui nous paraît devoir être substitué à celui qui est actuellement en vigueur; elle sera décrite dans un dernier paragraphe.

§ 201. — Canalisation spéciale pour le transport des matières des vidanges aux usines, se résumant par la formule. « *Tout à l'usine et non tout à l'égout.* »

Ce chapitre se termine enfin par un paragraphe dans lequel nous exposons la composition et les emplois des gadoues ou boues recueillies dans les villes.

§ 195. — Composition des déjections de l'homme.

L'importance de l'emploi agricole des déjections humaines est trop évidente pour qu'il soit nécessaire d'insister sur ce point, mais il peut être utile d'être fixé sur les quantités de matières qui aujourd'hui encore sont en grande partie perdues.

MM. Wolf et Lehmann ont déterminé la composition des déjections de différentes personnes ; ils sont arrivés aux résultats suivant :

Poids en grammes des excrétions solides et liquides par personne et par jour.

	MATIÈRES SOLIDES.	AZOTE ORGANIQUE.	PHOSPHATES.	URINE.	AZOTE ORGANIQUE.	PHOSPHATES.
	gr.	gr.	gr.	kil.	gr.	gr.
Hommes.....	150	1.74	3.23	1.500	15.00	6.08
Femmes.....	110	1.92	1.08	1.350	10.73	5.67
Garçons.....	45	1.82	1.62	570	4.72	2.16
Filles.....	25	0.57	0.37	450	3.68	1.75
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Moyenne.....	82.5	1.03	1.56	954	8.53	3.86
Moyenne par an..	30k,112	0k,375	0k,569	345k,210	3k,113	1k,378

En calculant la totalité des matières émises pour 37 millions

d'habitants, on trouverait qu'elle est égale à 13,875,000 tonnes renfermant 128,950 tonnes d'azote et 63,089 tonnes de phosphates. En calculant l'azote à 2 francs le kilo et l'acide phosphorique à 1 franc le kilo (en admettant qu'il soit entièrement soluble et que les phosphates renferment la moitié de leur poids en acide phosphorique), on trouve, pour la valeur de l'azote, 257 millions de francs, et pour l'acide phosphorique 31 millions, ou, pour le total, 288 millions de francs.

D'après des expériences de M. Barral, qui ont porté sur trois hommes, une femme et un enfant, la quantité moyenne de déjections solides et liquides a été de $1^{kil},224$ par jour et par personne. Elle serait donc, par année, de $446^{kil},760$. En ramenant ces chiffres au poids de l'homme moyen de France (45 kilogrammes), on aurait, comme produit annuel, 428 kilogrammes, soit, pour nos 36 millions de compatriotes, 15,768,000 tonnes, qui contiendraient, au moment de l'émission, 209 millions de kilogrammes d'azote (à raison de $13^{kil},3$ par tonne), et 40,445,000 kilogrammes d'acide phosphorique (à raison de $2^{kil},665$ par tonne).

Mais comme toute la population n'est pas aussi bien nourrie que les personnes sur lesquelles a porté l'expérience, on peut, en réduisant tout au minimum, diminuer ces évaluations d'un tiers. On évaluera alors la quantité d'azote à 140 millions de kilogrammes, et celle de l'acide phosphorique à 27 millions. Enfin, comme il y aura toujours perte d'azote par suite du séjour des matières dans les fosses, on peut réduire sa quantité à 100 millions de kilogrammes. En portant l'azote à 2 francs le kilo et l'acide phosphorique à 70 centimes, nous aurions d'après M. Barral, pour le prix total des matières fécales produites annuellemeut en France, 200 millions pour l'azote, et $0,70 \times 27 = 18,9$ millions pour l'acide phosphorique, ou 218 millions pour les deux éléments importants, chiffre qui n'est pas très différent de celui que nous avons donné plus haut, d'après les analyses de MM. Wolf et Lehmann, et qui s'en rapprocherait davantage, si nous avions calculé pour 36 millions au lieu de 37.

On arrive encore à un chiffre à peu près analogue en attribuant, comme on le fait en Angleterre, le prix de la tonne d'engrais humain à 7 francs; on trouverait ainsi 252 millions pour la France(1).

Comment tire-t-on parti de cette masse énorme de matière ferti-

(1) Voyez, pour plus de détails, *Principes de l'assainissement des villes*, par M. de Freycinet, ingénieur des mines.

lisante; comment a-t-on réussi à l'employer, c'est ce que nous devons examiner dans les paragraphes suivants.

§ 196. — Engrais flamand.

On a essayé bien des modes d'emploi des matières fécales. Dans les Flandres on les utilise déjà depuis des siècles sous le nom d'*engrais flamand*. On prépare celui-ci au moyen des déjections humaines, qui, amenées de la ville, sont conservées dans des citernes ou réservoirs que l'on trouve dans le voisinage de tous les domaines un peu étendus. Les cuves de maçonnerie, qui présentent une capacité de 250 à 400 hectolitres, sont munies de deux ouvertures: l'une, qui passe par le milieu de la voûte, est destinée à l'introduction ou à l'extraction des matières; l'autre, pratiquée dans le mur qui regarde le nord, permet l'accès de l'air jugé nécessaire pour leur fermentation.

La valeur de l'engrais flamand est assez variable; on la diminue souvent par des additions d'eau considérables. D'après Girardin, cet engrais ne doit pas marquer au-dessous de 3 degrés à l'aréomètre; quand il ne marque que 2 degrés et 1 degré, il a été fraudé.

Voici, au reste, d'après Girardin, la composition que présentent divers échantillons plus ou moins additionnés d'eau (*Compt. rend.*, 1860, t. II, p. 751):

	ENGRAIS PUR n° 1.	ENGRAIS ADDITIONNÉ D'EAU	
		de Lille n° 2.	du Quesnoy n° 3.
	gr.	gr.	gr.
Eau	950.98	981.55	989.52
Matières solides	49.11	18.45	10.48
Azote total	8.888	6.537	1.835
Sous-phosphate de chaux	6.857	2.056	0.555
Potasse	2.075	1.503	3.157

Girardin attribue à l'azote et au phosphate de chaux les prix de 1 fr. 65 c. le kilogramme pour l'un et 0 fr. 15 c. le kilogramme pour l'autre, et il arrive aux prix suivants pour les 1 000 kilogrammes (1):

(1) On voit que les prix de l'azote et des phosphates sont très faibles; le chiffre adopté pour l'acide phosphorique soluble qui se trouve dans l'engrais flamand est

	AZOTE à 1 fr. 65 c. le kil.		PHOSPHATE DE CHAUX à 15 c. le kil.		VALEUR TOTALE des 1000 kil.
	Quantité.	Prix.	Quantité.	Prix.	
	kil.	fr.	kil.	fr.	fr.
Engrais flamand pur, n° 1..	8.888	14.665	6.857	1.028	15.693
Engrais additionné d'eau, n° 2.....	6.537	11.186	2.054	0.308	11.494
Engrais additionné d'eau, n° 3.....	1.835	3.027	0.555	0.083	6.110

L'engrais flamand, très étendu d'eau, est généralement mélangé à des tourteaux qui s'y décomposent assez rapidement. Le liquide ainsi obtenu présente, comme l'engrais flamand pur, une forte odeur de sulfhydrate d'ammoniaque, car les sulfates existant dans les eaux ou dans les matières fécales elles-mêmes sont amenés bientôt à l'état de sulfures, qui réagissent sur le carbonate d'ammoniaque provenant de l'altération de l'urée. Les cultivateurs du Nord conduisent l'engrais liquide sur leurs terres dans des tonneaux qui sont vidés peu à peu dans un baquet placé sur l'un des coins du champ qu'il faut fumer; l'engrais est alors lancé tout autour du baquet à l'aide d'écopes munies de longs manches. On transporte ensuite le baquet en un autre point, et l'on recommence la même opération.

A Anvers, l'exploitation des vidanges, faites depuis des siècles au profit du trésor communal, a de tout temps rapporté des sommes considérables. Le bénéfice annuel a été de 110,000 francs avant l'emploi du guano, la concurrence l'a fait tomber plus tard à 80,000 francs. La quantité totale fournie par la ville, chaque année, est d'environ 30,000 mètres cubes. Les matières solides sont embarquées en vrac et déposées dans un réservoir central formé de plusieurs citernes, situé sur la rive gauche de l'Escaut : c'est là qu'un agent de la ville les vend au public. Les matières liquides sont chargées dans des bateaux-citernes, qui vont alimenter les fosses à gadoues des cultivateurs et des marchands. C'est surtout le pays de Waës, où la culture des plantes industrielles est très développée, qui utilise cet engrais. Le prix moyen des matières fécales ordinaires est de 9 à 10 francs par mètre cube livré au bateau ; il varie, selon la densité, de 5 à 18 francs.

tout à fait au-dessous des prix actuels du commerce. Nous discutons ces prix à la fin de l'ouvrage.

La ville de Louvain ne se contente pas de vendre aux cultivateurs des environs les matières fécales qu'elle recueille chez elle : elle a fait construire des bateaux couverts qui circulent sur les canaux et vont chercher les matières des vidanges dans des villes même assez éloignées, à Anvers, à Amsterdam, pour les réunir dans des citernes, où elles sont vendues au public. Il est remarquable de voir que ce sont les pays les plus renommés pour leur propreté qui ont surmonté depuis de longues années le dégoût qu'inspire la manipulation des matières des vidanges.

En France, il n'est qu'un petit nombre de localités dans lesquelles les matières fécales soient employées à l'état naturel; cependant nos départements du Nord ne sont pas les seuls dans lesquels on en fasse régulièrement usage : en Provence, dans les Alpes-Maritimes où le bétail est rare, on utilise les vidanges pour les cultures maraîchères si soignées qu'on remarque aux environs des villes. Quand on parcourt la ville d'Aix, on voit à la devanture de chaque maison une petite porte fermant une loge dans laquelle se trouve un tonneau destiné à recevoir les déjections des habitants ; ces tonneaux sont changés de temps à autre et le contenu utilisé dans les campagnes environnantes. Le mode de transport dans ce pays de jardinage est des plus simples, et pour peu qu'on fasse quelques promenades sur les routes poudreuses de la Provence, on rencontre un paysan monté sur un cheval ou un mulet et portant de chaque côté de sa selle un petit tonneau renfermant l'engrais; celui-ci est déposé dans les champs, dans des tonneaux enfoncés en terre, et utilisé au moment convenable.

La Chine est sans doute la contrée où l'on utilise de la façon la plus complète la matière fécale. Les cultivateurs vont la chercher à la ville et la placent dans des jarres disposées à la porte de leurs maisons; les matières encore fraîches sont délayées dans l'eau et versées au pied des plantes à mesure des besoins. Ces pratiques, qui se rapprochent du jardinage, ne sont possibles que dans un pays où la main-d'œuvre est à très bon marché. Il est à remarquer en outre que ce transport continuel à travers la ville de matières de vidanges occasionne des odeurs repoussantes qui nous paraîtraient intolérables et dont souffrent cruellement les Européens établis en Chine.

Les Chinois ne paraissent pas s'en préoccuper ; cet inconvénient étant laissé de côté, on ne saurait manquer d'être frappé de voir la population extrêmement nombreuse de la Chine vivre sur un

sol qui ne reçoit aucune matière fertilisante extérieure. Tandis que les Etats européens, qui nourrissent une population moins dense que celle de la Chine, ne conservent à leur sol leur fertilité qu'en épuisant successivement tous les gisements d'azote combiné et de phosphates du globe pour remplacer la masse énorme de matières fertilisantes jetées journellement dans les cours d'eau, les Chinois par l'emploi des déjections humaines ont su maintenir leur population tellement nombreuse qu'elle est animée d'un mouvement d'expansion continu; ils sont restés florissants depuis des milliers d'années, tandis que d'autres États de l'Asie cultivant mal ont successivement disparu, ne laissant que des ruines comme témoignage de leur grandeur passée. Quelque puissant que soit cet enseignement il ne semble pas de nature à modifier les habitudes : l'emploi direct des vidanges se continue dans les pays où il est établi depuis un temps immémorial, mais il n'est pas vraisemblable qu'il se généralise.

§ 197. — Fabrication de la poudrette.

Dans un grand nombre de villes on établit dans le sol, au-dessous des maisons, des fosses maçonnées qui reçoivent les déjections des habitants; un progrès considérable a été fait quand on s'est efforcé de rendre ces fosses étanches et que les liquides ne se sont plus infiltrés dans le sous-sol, arrivant jusqu'aux nappes d'eau souterraines et contaminant les puits. Tandis qu'habituellement l'eau des puits salubres ne renferme que des traces d'ammoniaque, on trouvait il y a trente ans, dans les puits des maisons du vieux Paris, 34^{milli},3, 33^{milli},8 et 30^{milli},3 d'ammoniaque par litre; quantités énormes évidemment dues à des infiltrations de fosses d'aisances et la consommation d'eaux semblables est non seulement horriblement répugnante, elle est de plus terriblément dangereuse.

Les fosses maçonnées ne mettent pas à l'abri de tout danger, car elles laissent suinter les liquides qu'elles renferment. Wurtz a trouvé à Bicêtre dans un kilogramme de terre prise :

	Autour de la fosse.	Autour du tuyau de chute.
Carbone des matières organiques	8.11	57.00
Ammoniaque	»	0.03
Ammoniaque extraite de matières organiques	0.098	0.612
Acide nitrique	0.037	0.815

et dans un kilogramme de terre prise à la Salpêtrière :

	Très rapproché de la fosse.	Très loin de la fosse.
Carbone des matières organiques	9.8	1.05
Ammoniaque	0.012	0.0018
Ammoniaque extraite des matières organiques.....	0.097	traces
Acide nitrique.....	0.316	0.019

D'où la preuve que les terres voisines des fosses recevaient des infiltrations. Bien que l'administration de la ville de Paris veille aujourd'hui à ce que les constructions des fosses soient faites avec soin, les inconvénients dus aux infiltrations n'ont que partiellement disparu.

En outre l'extraction des matières des vidanges s'est certainement perfectionnée depuis quelques années; les gaz sont, au moment de la vidange, conduits au travers d'un foyer qui brûle les produits volatils à odeur forte, de telle sorte que la vidange des fosses d'une maison n'empeste plus toute une rue, ainsi que cela se produisait naguère; quoi qu'il en soit, le procédé actuel est encore barbare et doit disparaître.

Que chaque maison recèle au-dessous d'elle des mètres cubes de liquide infect dont les émanations remontent dans les habitations à toutes les baisses barométriques, qu'il faille extraire ces liquides par des moyens mécaniques et les charrier à grand bruit pendant la nuit, troublant ainsi le sommeil des habitants; que la nécessité de répéter ces opérations coûteuses, d'autant plus souvent que l'eau pure arrivera plus abondamment dans les maisons et que par conséquent l'intérêt des propriétaires, auxquels incombent les frais de vidange, soit ainsi de restreindre les larges irrigations des cabinets d'aisance, c'est ce qui est intolérable.

Le système actuel est donc condamné, d'autant plus que la préparation des engrais à l'aide de ces produits a été longtemps des plus primitives et des plus grossières.

La fabrication de la poudrette a consisté en effet, pendant des années, à conduire les tonneaux renfermant des vidanges dans un dépotoir, qui à Paris est situé au nord-est, à la Villette; là une machine repousse par une longue conduite ces matières dans de grands bassins situés à Bondy; par le repos les matières solides se déposent, on décante les liquides et l'on finit par séparer une matière noire qui se dessèche lentement à l'air.

Quant aux liquides décantés, aux eaux vannes, elles n'ont été longtemps l'objet d'aucun traitement; repoussées dans une conduite

elles étaient directement déversées à la Seine. Les compagnies de vidange trouvent surtout des bénéfices dans les redevances que paient les propriétaires, le traitement des produits n'est pour eux que secondaire, surtout quand les eaux sont pauvres en ammoniaque; aussi la fabrication du sulfate d'ammoniaque par distillation ne s'applique-t-elle qu'à une faible fraction des eaux vannes.

Le système des fosses fixes ne peut donc se défendre en donnant comme argument qu'il sauvegarde les intérêts agricoles; en réalité ces intérêts sont en général absolument sacrifiés, et ce n'est, nous le répétons, qu'une très minime quantité des produits qui arrivent dans les dépotoirs, qui sont utilisés.

M. L'Hôte a donné la composition d'une poudrette prise à Bondy en 1860, elle provenait de matières déposées en 1848.

Composition de la poudrette.

Matières dosées.	A l'état normal.	Supposée sèche.
Matières organiques azotées	32.81	47.00
Ammoniaque toute formée	0.59	0.05
Acide nitrique	0.30	0.43
— phosphorique	4.18	5.99
— sulfurique	3.50	5.02
— carbonique	2.87	4.11
Chlore	0.36	0.52
Potasse et soude	2.05	3.08
Chaux	6.70	9.59
Magnésie et oxyde de fer	2.72	3.90
Silice, sable, argile	12.62	19.51
Eau	30.20	»
	100.00	100.00
Azote total	1.52	2.17

Relativement au phosphate de chaux, la proportion d'azote est très faible, il est facile d'en saisir la raison ; la poudrette exposée à l'action de l'air pendant des années brûle sa matière organique, en outre pendant la fermentation même elle s'échauffe et le carbonate d'ammoniaque formé se volatilise.

Il résulte d'un grand nombre d'analyses, exécutées par M. Aubin, directeur du laboratoire des agriculteurs de France, que les poudrettes renferment de 1 à 2 p. 100 d'azote et de 2 à 6 p. 100 d'acide phosphorique; cette composition étant essentiellement variable, les poudrettes ne doivent être achetées que sur analyse; elles se vendent en moyenne 3 francs l'hectolitre, ou 4 francs les 100 kilogrammes.

Pour montrer les variations considérables de valeur que présente cet engrais, nous empruntons à MM. Muntz et Girard le tableau suivant indiquant la composition d'une poudrette moyenne, d'une très pauvre et d'une autre très riche avec la valeur de chacune d'elles résultant de leur composition.

COMPOSITION.	VALEUR DU KILOGR.	POUDRETTE MOYENNE.		POUDRETTE TRÈS PAUVRE.		POUDRETTE TRÈS RICHE.	
		Teneur p. 100.	Valeur.	Teneur p. 100.	Valeur.	Teneur p. 100.	Valeur.
	francs.	kilogr.	francs.	kilogr.	francs.	kilogr.	francs.
Azote	1.50	1.60	2.40	0.46	0.69	2.79	4.18
Acide phosphorique	0.30	3.00	1.50	1.21	0.60	8.14	4.07
Potasse	0.40	0.50	0.20	1.29	0.53	0.53	0.22
Valeur des 100 kil.			4.10		1.81		8.47

§ 198. — Eaux vannes.

Le procédé de préparation des poudrettes par simple dessiccation à l'air entraîne la décantation dans de grands bassins des matières liquides des vidanges.

Celles-ci désignées sous le nom d'eaux vannes ont donné à M. L'Hôte la composition suivante :

Dans un litre pesant 1gr,023.

	gr.
Matières organiques azotées	12.80
Ammoniaque toute formée	5.24
Acide phosphorique	1.35
Chaux	1.59
Silice et sable	0.79
Eau	991.20

L'azote était presque entièrement ammoniacal.

On a essayé d'utiliser ces liquides par différentes méthodes ; une faible quantité d'eaux vannes est vendue directement aux cultivateurs. Moll, ancien professeur au Conservatoire des arts et métiers, a employé autrefois ces engrais à la ferme de Vaujours, où ils arrivaient par bateaux sur un canal qui reliait la ferme au dépotoir. L'engrais était répandu sur les terres à l'aide de lances fixées sur des regards que portait une série de tuyaux souterrains dans lesquels circulait le liquide fécondant. Les essais furent peu avantageux et le système abandonné.

M. Gargan a fait construire, il y a une trentaine d'années, des wagons-citernes à l'aide desquels il transportait les engrais liquides à différentes gares du chemin de fer de l'Est, le seul qui eut accordé des diminutions de tarif suffisantes pour ne pas porter le prix de l'engrais à un taux hors de toute proportion avec sa valeur. Les cultivateurs champenois paraissent avoir employé cette matière avec grand profit; malheureusement l'élévation du transport sur le chemin de ceinture et l'insuffisance des quantités livrées apportèrent des obstacles à l'entreprise, qui n'eut pas de suite.

Le transport des eaux vannes du dépotoir de Paris, à l'aide de grands bateaux-citernes naviguant sur les cours d'eau, s'est effectué également, mais cette utile tentative n'a pas reçu tous les développements qu'elle comporte; la valeur du mètre cube d'eaux vannes est à peu près de 12 francs. Les cultivateurs éloignés de Paris consentent à le payer à ce prix, et nous savons qu'il en a été conduit par canaux jusque dans le département des Ardennes. Dans les localités plus voisines de Paris, le prix est beaucoup moindre; il est vendu 5 à 6 francs le mètre, et dans ces conditions c'est un engrais très avantageux, quand on dispose d'une quantité d'eau suffisante pour le diluer.

Emploi des eaux vannes à la fabrication du sulfate d'ammoniaque. — Le véritable emploi des liquides des dépotoirs est la fabrication du sulfate d'ammoniaque.

Les eaux vannes renferment la plus grande partie de leur azote à l'état de carbonate ou de sulfhydrate d'ammoniaque qui sont volatils, et qui se séparent de l'eau dès qu'elle est portée à une température voisine de l'ébullition; il est facile de montrer dans un cours cette grande volatilité, en distillant une dissolution de carbonate d'ammoniaque contenue dans un ballon adapté au serpentin renversé de M. Schlœsing, ou même à un simple tube recourbé à angle très obtu; aussitôt que la température de l'eau commence à monter on voit un anneau de carbonate d'ammoniaque venir se condenser sur la paroi du tube et précéder constamment la vapeur.

Cette expérience permet de concevoir que si on emploie un appareil à colonne analogue à celui qu'on utilise dans les distilleries, on chassera l'ammoniaque de plateaux en plateaux jusque dans de l'acide sulfurique où l'ammoniaque sera condensée; si les appareils sont fermés et qu'on conduise les gaz dans un foyer ou dans de l'acide sulfurique nitreux avant de les envoyer à la cheminée, on

pourra conduire cette fabrication sans qu'elle répande au dehors d'odeurs infectes.

La fabrication de la poudrette, la distillation des eaux vannes sont destinées à disparaître en même temps que les fosses fixes et l'on conçoit que s'il existait un système de canalisation qui mît directement les maisons en communication avec les usines, on puisse traiter directement les matières excrémentitielles fraîches par de l'acide sulfurique et les dessécher au feu; c'est ce qu'on a pratiqué dans différentes villes d'Allemagne; enfin on a proposé de traiter directement les matières fraîches par la chaux agissant à l'ébullition; on sépare de l'ammoniaque qui est recueillie dans l'acide sulfurique, le résidu est formé d'un liquide clair qu'on décante et qu'on envoie sans inconvénients aux égouts, car les matières organiques ont été profondément modifiées par leur ébullition au contact de la chaux, et tous les germes morbides que les eaux pouvaient contenir ont été tués. La matière solide restant dans les appareils est pressée dans des filtres-presses analogues à ceux des sucreries.

Il est à remarquer que tous ces procédés sont d'autant moins avantageux à employer que les matières sont plus diluées, or cet état de dilution varie beaucoup d'un quartier à l'autre ainsi que le montre nettement le tableau suivant :

	Azote par kilogr.
Matières de vidanges solides et liquides (sans addition)...	9.37
Urines pures.....	8.96
Vidanges recueillies rue Mouffetard.....	6.00
— rue Saint-Denis.....	5.30
— rue Chaussée-d'Antin.....	1.00
— au Grand-Hôtel.....	0.27
— boulevard Poissonnière (cabinets avec eau).....	1.73
— rue Montorgueil (cabinets sans eau)..	4.12

Il est visible que si les vidanges provenant de maisons dans lesquelles la distribution d'eau est parcimonieuse présentent une teneur en azote élevée, il n'en est plus de même pour les vidanges des maisons bien tenues où les cabinets sont lavés à grande eau.

Or tous les efforts des villes tendent à augmenter sans cesse la quantité d'eau disponible dans chaque habitation, et dans un temps plus ou moins rapproché les dissolutions évacuées seront si étendues qu'il sera impossible de les traiter avantageusement et qu'on sera fatalement conduit, ou bien à les faire couler dans les rivières, ou bien à les épurer en les employant aux irrigations.

§ 199. — Inconvénients d'écouler les eaux d'égout aux rivières.

Ouvrir les tuyaux de chute des vidanges dans les égouts, dont les eaux s'écoulent dans les rivières, expose à la fois à de nombreux inconvénients et en cas d'épidémie à de terribles dangers.

La ville de Londres en a fait il y a déjà quelques années la triste expérience. En 1858, le fleuve, infecté dans l'intérieur même de Londres par les égouts qui s'y déchargeaient directement, dégagea des odeurs si intolérables que bon nombre d'habitants émigrèrent et que le Parlement, dont le palais borde la Tamise, suspendit ses séances. Quelques-uns des quartiers de Londres s'alimentaient avec les eaux de la Tamise prises assez bas dans son cours pour être contaminées par les égouts; aussi en 1866 la mortalité par le choléra y fut-elle terrible, tandis que le fléau n'exerçait que de faibles ravages dans l'ouest de la ville desservi par des eaux de source ou par les eaux de la Tamise prises en amont. L'opinion publique s'émut vivement des dangers que faisait courir à la population le déversement des égouts dans le fleuve et l'on construisit sur les deux rives deux égouts collecteurs destinés à recueillir toutes les eaux chargées des matières des vidanges pour les conduire à la mer.

Les eaux d'égout de Paris ne reçoivent pas, comme celles de Londres, la totalité des matières des vidanges, le système des fosses fixes existant encore dans nombre de maisons anciennes; mais les eaux ménagères, les eaux d'arrosage de la voie publique, les eaux d'usine, les urines émises dans les rues, enfin les vidanges d'un nombre de maisons qui va sans cesse en croissant sont réunies dans les deux collecteurs qui vont déboucher dans la Seine à Clichy.

Qu'il soit impossible de continuer à jeter dans le fleuve le flot noir du collecteur, tout le monde en convient. La rive droite de la Seine est constamment soumise aux émanations de ces masses d'eau impure qui dégagent des gaz infects renfermant une forte proportion de gaz des marais dont les grosses bulles viennent crever à la surface, le fleuve est infecté sur une longueur assez grande, car ce n'est qu'entre Bonnières et Vernon, à 123 kilomètres du collecteur de Clichy, que la Seine retrouve sa proportion normale d'oxygène dissous tandis qu'au pont d'Asnières elle en contient 5 à 6 centimètres cubes par litre, au pont de la Briche elle n'en contient plus

qu'un, par conséquent presque la totalité de l'oxygène dissous est employé à brûler la matière organique que charrie le fleuve.

L'eau de la Seine déjà très impure en amont de Paris, ne peut plus être utilisée comme boisson après avoir reçu le collecteur sans faire courir aux consommateurs les plus graves dangers, car rien ne démontre que quand elle a repris son taux normal d'oxygène, elle soit redevenue salubre ; des maladies graves telles que le choléra et la fièvre typhoïde se propagent par les eaux contaminées par les déjections des malades et on conçoit combien il est imprudent, dangereux, barbare, de les jeter dans un fleuve qui baigne avant d'arriver à la mer des villes et des villages très peuplés.

L'eau d'égout ne doit donc pas être mêlée aux eaux des fleuves, et trois solutions se présentent à l'esprit : construire un canal qui conduise l'eau jusqu'à la mer, épurer l'eau par des procédés chimiques ou encore employer l'eau aux irrigations.

Les villes voisines de la mer, comme Londres, ont simplement continué leurs collecteurs jusqu'aux points où ils débouchent dans de l'eau trop saumâtre pour pouvoir jamais servir de boisson ; la question de salubrité est ainsi résolue, mais on a laissé de côté l'utilisation du *sewage* ; on a essayé à diverses reprises de fonder des sociétés pour conduire les eaux d'égout jusqu'aux sables des côtes de la mer du Nord qu'ils auraient pu fertiliser, mais on a toujours échoué.

En France on a étudié l'épuration des eaux par des procédés chimiques ; le nombre des procédés proposés est très considérable, aucun n'a conduit à une solution acceptable ; s'il est facile de montrer dans un cours qu'en coulant dans l'eau d'égout une dissolution de sulfate d'alumine, on l'éclaircit assez rapidement, si on reconnaît que bientôt les eaux deviennent limpides, la purification n'est que très incomplète ; rien ne démontre notamment que les eaux aient perdu les germes morbides qu'elles renferment souvent ; ce procédé de traitement a été au reste abandonné et on emploie aujourd'hui dans la presqu'île de Gennevilliers, puis plus loin jusque dans la forêt de Saint-Germain une partie des eaux du collecteur aux irrigations.

Cet emploi est installé également dans nombre de localités d'Angleterre et il est intéressant de voir à quels résultats il a conduit.

§ 200. — Emploi des eaux d'égout aux irrigations en Angleterre.

Une commission établie en Angleterre il y a vingt-cinq ans environ sous le nom « *River's pollution* », s'est livrée à une étude très consciencieuse de cette

question; MM. Frankland et John Chalmers Morton qui dirigeaient les travaux ont publié leurs recherches, dans une série de brochures du plus haut intérêt; nous résumerons d'abord les travaux relatifs aux irrigations employant les eaux d'égout de deux villes d'inégale importance : Norwood et Croydon.

Irrigations à Norwood. — A Norwood, un champ de 12 hectares à sous-sol argileux a été disposé pour recevoir les eaux d'égout d'une population de 4000 personnes environ. Le terrain de la ferme à *sewage* est sur un sous-sol argileux légèrement en pente, de façon que le drainage a été facile à établir. On a disposé un bassin en haut du champ, et les eaux en partent dans des rigoles disposées dans le sens de la pente; elles sont arrêtées de place en place à l'aide de barrages de terre, de façon qu'elles puissent déborder et recouvrir la terre voisine en suivant la pente jusqu'aux rigoles inférieures. Les parcelles sont arrosées autant que l'arrivée de l'eau le permet; en été, elle est juste suffisante. Néanmoins on obtient cinq ou six fois par an de bonnes récoltes de foin; la recette a été de 1375 francs pendant neuf mois de 1868, et de près de 4000 francs en 1869 : d'où l'on peut conclure que chaque personne de la ville a contribué à ce produit pour 1 franc par an environ.

Voici les comptes de la ferme pour 1869 :

Les recettes totales se sont montées à.....	18.522 fr.
Les dépenses à.....	14.800
Le bénéfice a donc été de.....	3.722 fr.

Ces résultats sont particulièrement dignes d'attention, parce qu'ils s'appliquent à de petites localités, et que par suite ils montrent que les travaux à exécuter ne dépassent pas habituellement les ressources dont disposent les communes de médiocre importance. Il est certain que dans les parties montagneuses du midi de la France, où les irrigations sont pratiquées avec grand profit, il y aurait un avantage considérable à diriger sur les prairies les eaux chargées des immondices des habitants, au lieu d'envoyer ces liquides fécondants se perdre dans les rivières, au grand détriment de la santé des populations placées en aval.

Nous sommes persuadé que dans les parties élevées du pays qui est adossé aux Pyrénées, où la culture est déjà remarquablement avancée, qui dispose d'une masse considérable d'eau provenant des montagnes, les travaux nécessaires pour envoyer les immondices dans les eaux d'irrigation seraient bien vite remboursés par l'excès de produit obtenu; on obtiendrait ainsi, sans aucune difficulté, des rendements analogues à ceux qui ont donné une si haute réputation aux marcites de Milan.

Les eaux d'égout de Norwood ont été soumises à une série d'analyses régulières : depuis septembre 1868 jusqu'à septembre 1869, on a recueilli deux échantillons par mois à leur sortie des champs irrigués. Les résultats obtenus ainsi pendant toute l'année ont montré qu'à bien peu d'exceptions près, les eaux sont assez bien purifiées pour être jetées sans inconvénient dans les cours d'eau; cependant on a trouvé au mois de janvier, après une gelée de sept jours, que la quantité d'azote combiné qui, à l'analyse précédente, était de 0,098 pour 100 000 parties d'eau, était montée à 3,419 : la décomposition des matières organiques azotées avait été arrêtée tandis qu'habituellement, au contraire, la

plus grande partie de l'azote contenu dans les eaux s'y trouve à l'état d'ammoniaque ou de nitrates, qui ne peuvent avoir sur la santé publique les effets pernicieux que présentent sans doute les matières organiques azotées.

Irrigations à Croydon. — Les eaux de Croydon reçoivent les vidanges de 30 000 à 40 000 personnes; elles arrivent dans des prairies de 100 hectares environ, reposant sur un sous-sol de gravier; la quantité fournie varie de 135 mètres cubes, par hectare et par jour, à 200 mètres cubes. Ce dernier nombre est sensiblement plus élevé que celui qu'on a reconnu utile d'employer à Gennevilliers, qui atteint 150 mètres cubes par hectare et par jour, et qui se trouve par conséquent un peu plus fort que la quantité minima employée à Croydon.

On a obtenu de très bonnes récoltes d'herbe atteignant au mois de mai 35 000 kilogrammes à l'hectare; les quatre ou cinq autres coupes, faites dans le courant de l'année, ont donné chacune de 20 000 à 25 000 kilogrammes.

On a soumis aux analyses les eaux de Croydon comme celles de Norwood, pendant toute une année, et l'on a pu ainsi arriver à comparer les résultats obtenus aux différentes saisons; on les trouvera réunis dans le tableau suivant.

Nous avons donné d'abord la composition moyenne des eaux d'égout de Norwood et de Croydon au moment où elles arrivent sur les prairies, puis la composition moyenne des eaux recueillies après les irrigations au printemps, en été, en automne et en hiver, et enfin après sept jours de gelée consécutive.

Influence des saisons sur la purification des eaux d'égout par les irrigations. Résultats des analyses pour 100,000 parties.

COMPOSITION MOYENNE DES EAUX D'ÉGOUT.		POIDS DES MATIÈRES dissoutes.	CARBONE DES MATIÈRES organiques.	AZOTE DES MATIÈRES organiques.	AMMONIAQUE.	AZOTE DES NITRATES et nitrites.	AZOTE TOTAL COMBINÉ.	CHLORE.
Eaux d'égout à leur arrivée.								
Norwood		94.9	3.972	1.586	6.032	0.000	6.554	8.66
Croydon		45.7	2.508	1.576	3.006	0.000	3.527	4.23
Eaux après les irrigations.								
Printemps..	Norwood.	88.1	1.500	0.303	0.816	0.220	1.194	8.37
	Croydon.	35.4	0.594	0.104	0.072	0.225	0.388	2.32
Été	Norwood.	88.6	1.883	0.312	0.462	0.657	1.361	11.03
	Croydon.	35.4	0.607	0.126	0.069	0.155	0.300	2.57
Automne...	Norwood.	87.0	1.349	0.203	0.835	0.734	1.629	8.94
	Croydon.	43.1	0.690	0.138	0.185	0.589	0.792	3.20
Hiver	Norwood.	87.0	1.271	0.273	0.876	0.313	1.255	7.71
	Croydon.	40.6	0.612	0.145	0.204	0.533	0.846	2.72
Après 7 jours de gelée.	Norwood.	88.8	1.356	0.413	1.145	0.156	1.534	8.84
	Croydon.	45.6	0.591	0.239	0.371	0.448	0.992	2.88

On remarquera, à la lecture du tableau précédent, que la somme des matières restées en solution est remarquablement uniforme pendant toutes les saisons : mais en comparant le degré de purification obtenu dans les deux fermes, il convient de se rappeler que le degré de pureté de l'eau, après l'irrigation, dépend surtout de son état de concentration au moment de l'arrivée. On peut juger de la richesse des eaux par la quantité de chlore qui y est contenue : en reconnaît ainsi que pendant l'été les eaux de Norwood étaient très chargées, aussi les éléments organiques se trouvaient-ils dans l'eau qui avait servi à l'irrigation en proportions notables ; en hiver, quand les eaux étaient moins riches à l'arrivée, elles étaient presque pures à la sortie. A la ferme de Croydon, l'eau était plus concentrée en hiver et en automne, par suite moins pure à la sortie ; en été, quand l'eau, à l'arrivée, était moins chargée, elle atteignait au moment de rejoindre la rivière, une grande pureté. En résumé, on voit que la composition des eaux rejetées aux rivières après les irrigations dépend plus de leur degré de concentration à leur arrivée aux prairies que de la saison même.

Résumé des opérations exécutées en Angleterre par the Board of health. — Les ingénieurs placés sous la direction de MM. Frankland et Chalmers Morton déclarent, en terminant leurs longs travaux, qu'après avoir essayé un grand nombre de procédés proposés pour la purification des eaux d'égout des villes, ils sont arrivés à se convaincre que l'irrigation était le moyen le plus simple, le plus commode, le plus avantageux, de se débarrasser des causes d'insalubrité qu'elles engendrent. L'irrigation a surtout porté sur les prairies, et elle a eu lieu en toute saison et toujours en couvrant complètement les prairies avec les eaux ; le foin obtenu en quantité énorme, est généralement un peu grossier, mais il convient cependant à la nourriture des vaches, ainsi que le démontrent les essais suivants dus à M. Lawes.

Expériences de M. Lawes sur la valeur du foin récolté sur les prairies irriguées avec les eaux d'égout. — Nous trouvons en effet, dans l'importante collection de mémoires des laborieux agronomes de Rothamsted, un intéressant travail sur l'emploi des eaux d'égout, et nous en donnons ici les conclusions.

L'épandage de grandes quantités d'eau d'égout des villes sur une prairie permanente pendant les mois du printemps et de l'été, à la dose de 25 000 tonnes par hectare et par an, a fourni pour 1 000 tonnes d'eaux vannes employées, un accroissement moyen de 4000 kilogrammes de fourrage vert (qui, eu égard à la petite quantité de substance sèche contenue dans l'herbe de la prairie arrosée, représente seulement environ 750 kilogrammes de foin sec). Le produit maximum obtenu fut d'environ 80 000 kilogrammes d'herbe fraîche par hectare (1).

M. Lawes ne s'est pas borné à déterminer la quantité de foin obtenue sur la prairie arrosée et sur celle qui ne l'était pas, il a employé le foin récolté dans ces deux conditions différentes à la nourriture des bœufs et des vaches, afin de reconnaître s'ils exerçaient sur l'engraissement ou sur la production du lait une influence particulière ; il a résumé ses conclusions comme suit :

1° Les bœufs tenus en stabulation et nourris exclusivement avec du foin,

(1) Ces nombres s'accordent avec ceux qu'on a obtenus à Gennevilliers.

qu'il provînt de la prairie arrosée ou de celle qui ne l'était pas, restèrent dans les conditions d'accroissement ordinaires aux animaux qui reçoivent une bonne nourriture d'engraissement; mais quand, pendant quelques semaines, on ajouta à l'herbe, des tourteaux, l'accroissement devint satisfaisant.

2° Des vaches maintenues à l'étable et mises au régime de l'herbe, après avoir reçu des tourteaux, donnèrent beaucoup moins de lait, mais en quantités à peu près égales, que le foin provînt de la prairie arrosée ou de celle qui ne l'était pas. Les vaches qui reçurent le foin de la prairie non arrosée consommèrent plus de nourriture et donnèrent plus de lait par rapport à leur poids, que celle de la prairie arrosée; mais la quantité de lait fournie pour une quantité donnée de nourriture fraîche fut exactement la même dans les deux cas, et, comme la matière sèche contenue dans l'herbe de la prairie arrosée était en moindre quantité, il en résulte qu'elle a poussé à la production du lait beaucoup plus que l'autre. Quand on donna le maximum d'arrosement, on obtint environ 2000 francs de lait par hectare. La valeur du lait obtenue par l'augmentation de produit due à 1000 tonnes d'eaux vannes fut d'environ 125 francs.

3° La composition des eaux de vidange de Rugby (endroit où l'on opérait) varie beaucoup suivant les saisons. Les eaux étaient singulièrement plus chargées pendant les temps secs. En moyenne, pendant sept mois, les eaux renfermaient à peu près $\frac{1}{1000}$ de matière solide; elles renfermaient environ $\frac{1}{10000}$ d'ammoniaque. 1000 tonnes représentaient les excréments fournis pendant une année par 21 et 22 personnes de tout âge et des deux sexes. La composition moyenne de ces eaux est à peu près semblable à celle des eaux d'égout de Londres (1).

4° L'herbe fournie par la prairie arrosée contient beaucoup plus d'eau que celle qui a été récoltée sur la prairie non arrosée; mais la matière sèche de la prairie arrosée est généralement beaucoup plus riche en matière azotée. Le lait des vaches alimentées avec le foin arrosé présente à peu près la même composition que celui des vaches qui ont reçu le foin de la prairie sèche (2).

§ 201. — Emploi des eaux d'égout dans la plaine de Gennevilliers.

Il y a maintenant plus de vingt ans que les ingénieurs de la Ville de Paris, MM. Mille et Durand-Claye, ont construit les premières pompes puisant dans l'égout collecteur d'Asnières une partie du flot noir qu'il déverse dans la Seine, ont fait franchir le fleuve aux eaux d'égout et les ont conduites sur les terres sablonneuses de la pres-

(1) Nous avons vu plus haut qu'en général les eaux d'irrigation ne renferment que 7 à 8 d'azote total pour 100,000 parties; c'est un peu moins que ne l'indique ici M. Lawes, qui a fait ses expériences à un moment où peut-être les eaux d'égout de Londres étaient moins diluées qu'elles ne le sont aujourd'hui.

(2) Le lecteur désireux d'approfondir ce sujet et de savoir où en était la question en Angleterre, il y a quelques années, consultera avec fruit l'ouvrage de M. Ronna : *Égouts et irrigations*, dans lequel il a réuni un très grand nombre de documents relatifs à l'emploi des eaux d'égout aux irrigations, en Angleterre (*Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1872).

qu'île de Gennevilliers; les essais eurent d'abord lieu sur un simple potager, puis plus tard les maraîchers voisins reconnaissant les avantages de l'emploi des eaux d'égout en firent usage, successivement les conduites se multiplièrent, s'étendirent et l'installation de pompes plus puissantes devint nécessaire; l'eau, accordée gratuitement, fut répandue en très grande quantité, et comme on ne s'était pas préoccupé de drainer le sol, il arriva que l'épuration se fit mal et que la nappe souterraine s'élevant peu à peu fut en grande partie composée d'eau d'égout. Cet état fâcheux suscita des plaintes répétées, et pour y remédier, on réunit en 1876, une commission dont faisait partie M. Schlœsing (1). Ce chimiste éminent reprit les travaux de M. Frankland relatifs à l'épuration des eaux d'égout par leur passage au travers du sol, il reconnut l'exactitude des faits annoncés par les agronomes anglais, à savoir que le sol exerçait une action oxydante énergique sur les matières organiques, et ces études furent couronnées par la grande découverte du ferment nitrique, due aux efforts communs de MM. Schlœsing et Muntz (Voyez page 403).

M. Schlœsing cherche à se figurer nettement ce qu'il advient des eaux contaminées employées aux irrigations : l'eau d'égout qui pénètre dans le sol s'y débarrasse d'abord des matières solides qu'elle tenait en suspension; quand elle s'est ainsi filtrée, qu'elle est mécaniquement purifiée, elle subit une purification chimique d'une toute autre importance : l'eau reste suspendue dans la terre, adhérente à ses molécules, entourée d'une couche d'air dont l'oxygène, saisi par les organismes du sol, brûle les matières organiques, transforme leur carbone en acide carbonique, leur hydrogène en eau, leur azote d'abord en acide azoteux, puis en acide azotique.

Cette combustion exigeant l'intervention de microorganismes différents n'est pas instantanée, elle exige un temps variable avec la température, mais surtout une pénétration de l'air facile, elle n'a lieu que dans un sol aéré; si donc, le déversement de l'eau est trop rapide, l'épuration due à la combustion ne se produit pas; d'où, l'obligation de ne déverser les eaux que sur des sols ameublis par des labours et très bien drainés, pour que l'écoulement de l'eau purifiée étant assurée, de nouvelles couches d'eau d'égout remplacent régulièrement celles qui sont évacuées.

M. Schlœsing a reconnu que l'eau qui arrive à la surface d'un sol

(1) Les travaux de cette commission ont été publiés sous le titre : *Assainissement de la Seine*, Gauthier-Villars, 1876.

déjà saturé, ne se mélange pas avec le liquide qui l'occupe déjà, mais le déplace; la comparaison suivante rend cette idée très claire: considérons un cylindre rempli de disques qui ne s'y déplacent qu'à frottement doux, tellement que tous y restent suspendus en équilibre; si on ajoute un nouveau disque à la partie supérieure il ne peut se loger dans le cylindre qu'à la condition que son poids provoquera la sortie du disque inférieur; et l'arrivée de chaque disque à la partie supérieure du cylindre déterminera la chute d'un disque à la partie inférieure.

Cette image rend très bien compte de ce qui se passe dans un sol saturé, l'eau reste suspendue dans la terre comme les disques dans le cylindre : quand une nouvelle couche est répandue à la surface, elle pénètre d'un bloc dans la masse poussant au-dessous d'elle la couche qui occupait la surface et celle-ci exerce une pression qui se transmet de couche en couche jusqu'à celle qui est voisine des drains ou de la couche imperméable sur laquelle elle doit s'écouler. Chaque afflux d'eau détermine donc le départ d'une quantité d'eau égale à celle qui est déversée, et cette condition règle l'abondance des distributions. L'eau suspendue dans la terre doit, en effet y séjourner un temps suffisant pour que sa purification soit assurée; dans un sol caillouteux et perméable comme celui de Gennevilliers, chaque mètre cube de terre peut retenir 150 litres de liquide, et le temps nécessaire à l'épuration est de vingt jours. Le sol ayant une épaisseur de 2 mètres, l'eau est évacuée après avoir traversé cette couche; on a constaté qu'un mètre cube de terre épure en moyenne de 25 à 30 litres d'eau d'égout par jour; en admettant que le sol ait une profondeur de 2 mètres, chaque hectare pourrait donc recevoir 500 mètres cubes d'eau par jour ou 182,000 mètres cubes en un an. C'est là un chiffre théorique, en le réduisant à 50,000 mètres cubes par an, on est certain d'obtenir, dans un sol bien préparé, une épuration complète.

La Ville de Paris a évacué en 1887, 125 millions de mètres cubes d'eau d'égout; on voit que si elle avait à sa disposition une surface de 2,500 hectares, elle pourrait épurer toutes ses eaux; mais ici se présente une difficulté.

Si on veut non seulement épurer les eaux, mais encore les utiliser, les surfaces doivent être beaucoup plus étendues; en effet, si les irrigations sont extrêmement avantageuses quand elles sont faites en temps utile, elles deviennent nuisibles à d'autres époques; or le collecteur déverse constamment ses eaux, et si la coulée en rivière

est interdite, il est manifeste que la Ville doit disposer d'un terrain qui lui appartienne et sur lequel elle pourra épurer l'eau qui sera refusée par la culture.

En 1887, 25 millions de mètres cubes d'eau ont été employés aux irrigations dans la plaine de Gennevilliers, la Seine a donc reçu encore 100 millions de mètres cubes d'eau d'égout; certainement les irrigations continueront à se développer, mais bien que la culture maraîchère soit très active, que le loyer des terres arrosées se soit beaucoup accru, puisqu'il atteint maintenant de 4 à 500 fr. l'hectare, il est visible, qu'il faut absolument joindre aux terrains en culture, un terrain inculte toujours prêt à recevoir les eaux non employées par les maraîchers; c'est là ce qui a décidé la Ville de Paris, à conduire ses eaux dans un terrain domanial de la forêt de Saint-Germain, à Achères assez vaste pour assurer l'épuration.

Il est vraisemblable qu'on ne s'arrêtera pas là, et que les avantages des irrigations de mieux en mieux appréciés, conduiront les ingénieurs à continuer les canaux de déversement dans la vallée de la Seine où ils trouveront en s'éloignant de Paris, des terrains de médiocre valeur sur lesquels les eaux seront employées aux irrigations des prairies.

De toutes les cultures, c'est celle qui peut absorber la plus grande quantité d'eau d'égout en fournissant des rendements en foin extrêmement élevés; sans doute on ne réalisera pas avec le foin les produits en argent qu'on obtient des cultures de carottes ou de choux, mais on obtiendra cependant encore des sommes suffisantes pour que dans un temps plus ou moins long, toutes les eaux d'irrigation soient utilisés, et pour que le terrain d'Achères ne reçoive plus que des quantités de plus en plus faibles.

La question est donc très facile à résumer: si on ne cherche que l'épuration, des surfaces restreintes suffisent, si on veut arriver à utiliser la masse de matières fertilisantes que renferment les eaux d'égout, il faut étendre beaucoup les surfaces et pousser plus avant dans la vallée de la Seine, qui est assez large et assez longue pour absorber complètement le fleuve infect actuellement déversé à Asnières.

§ 202. — État sanitaire des terrains arrosés.

Quand on a consulté les hygiénistes les plus éminents, les bactériologues les plus éclairés sur les dangers que ferait courir aux populations l'épandage d'eaux d'égout dans lesquelles les matières

des vidanges deviennent de plus en plus abondantes, ils n'ont pas caché leurs inquiétudes.

On sait, en effet, que nombre de germes, pathogènes ou non, se conservent dans le sol, que les bactéries y vivent, s'y reproduisent. L'épuration est due ainsi qu'il a été dit déjà à la nitrification provoquée par les ferments nitreux et nitrique, et leur présence dans tous les sols démontre déjà que la terre n'est pas un milieu impropre au développement des microorganismes. M. Pasteur a montré que la bactéridie charbonneuse persiste dans la terre pendant des années; M. Verneuil a reconnu que le germe du tétanos existe également dans le sol; la terre recèle encore les germes des fièvres paludéennes, de la fièvre jaune. Nous avons montré, M. Maquenne et moi, la présence dans le sol d'un ferment butyrique, j'y ai trouvé un ferment décomposant la cellulose avec formation de gaz des marais, etc., etc., on pouvait donc craindre en voyant avec quelle facilité les ferments se propagent dans le sol, que des évacuations alvines contenant les germes du choléra ou de la fièvre typhoïde, répandus avec les eaux d'égout, ne déterminassent des foyers d'infection extrêmement dangereux pour la grande ville dont ils sont voisins.

Il s'est trouvé que jusqu'à présent, rien n'est venu justifier ces craintes et on peut espérer qu'elles sont vaines, que, sans doute, les germes pathogènes de la fièvre typhoïde ou du choléra s'atténuent sous l'influence de l'oxygène et de la lumière, de telle sorte que, quand l'épandage des eaux d'égout n'est pas exagéré, que l'eau traverse un sol bien ameubli, par suite bien aéré, non seulement elle y brûle sa matière organique morte, mais qu'elle y abandonne les spores des microorganismes qui aérés, mais surtout insolés quand les labours les ramènent à la surface, finissent par périr. Jusqu'à présent l'emploi des eaux d'égout à Gennevilliers n'y a provoqué l'apparition d'aucune maladie spéciale.

M. J. Bertillon s'est livré à une étude approfondie de la question. Après avoir établi que les légumes obtenus dans les cultures arrosées n'ont occasionné aucun trouble particulier, il conclut en disant: « L'état sanitaire des localités arrosées par l'eau d'égout n'est ni notablement meilleur, ni pire, que celui des autres localités du nord et de l'ouest de Paris; les maladies épidémiques notamment n'y sont pas plus répandues et l'emploi de l'eau d'égout comme engrais n'exerce sur la santé publique aucune influence nuisible (1). »

(1) *Revue scientifique*, 1888, I, 268.

§ 203. — De l'emploi des vidanges des villes. Tout a l'usine.

Actuellement en France la tendance est de se débarrasser des matières de vidanges en les projetant dans les égouts et en utilisant les eaux aux irrigations; nous venons de montrer qu'on est encore bien loin d'employer la totalité des eaux et que même vraisemblablement un temps assez long s'écoulera avant que cet emploi ne soit complet ; ce procédé est-il le meilleur qu'on puisse employer, et la formule « Tout à l'égout » représente-t-elle un système qu'il faille préconiser ou bien au contraire est-ce un palliatif destiné à disparaître et la formule « Tout à l'usine » ne doit-elle pas la remplacer?

Ainsi qu'il a été dit plusieurs fois dans le courant de ce chapitre, deux questions sont à résoudre : d'une part, assurer la salubrité des villes, de l'autre, utiliser aussi complètement que possible la masse de matières fertilisantes que représentent les déjections d'une population qui consomme les produits récoltés sur une fraction notable de la surface du pays.

La question d'utilisation des vidanges d'une population énorme comme celle de Paris, de grandes villes comme Lyon, Bordeaux ou Marseille mérite qu'on s'y arrête. Nous avons déjà montré, que de toutes les contrées arrivées à un état de civilisation avancée dès l'antiquité, la Chine seule est restée prospère, florissante et n'a pas subi le sort des grands empires de l'Asie centrale, et, que certainement une des raisons qui l'ont maintenue peuplée, est l'emploi constant des matières fécales à la fertilisation du sol; les terres sont restées ainsi assez productives pour que la population se soit maintenue, malgré des guerres terribles, des dévastations et des massacres dont aucune contrée du globe n'a été préservée. Aujourd'hui, ainsi qu'il a été dit déjà, les États européens poussent les rendements de leurs sols à des chiffres beaucoup plus élevés qu'autrefois, en travaillant mieux le sol, mais aussi en profitant des dépôts d'azote combiné d'Amérique, en employant sur une très vaste échelle d'abord le guano, puis lorsqu'il a été épuisé, le nitrate de soude; en ce moment, cet engrais est à bon compte, mais le gisement, dû à des causes locales très particulières ne se renouvellera pas et dans un nombre d'années, impossible à déterminer exactement, il sera épuisé; il est manifeste qu'à ce moment le prix du sulfate d'ammoniaque augmentera considérablement et les villes

qui auront disposé leurs égouts de façon qu'il ne soit pas possible de séparer économiquement les matières des vidanges des eaux ménagères, des eaux de lavage des chaussées, auront lieu de s'en repentir.

Cette séparation est loin d'être impossible; on conçoit très bien au contraire que les égouts puissent recevoir une canalisation spéciale fermée, dans laquelle se déverseraient les tuyaux de chute des maisons, les liquides entraînant les matières solides seraient conduits aux usines et emmagasinés dans des réservoirs clos; ces usines devraient être outillées de façon à transformer rapidement les matières, elles y seraient forcées, au reste, pour ne pas donner aux récipients emmagasinateurs des dimensions exagérées; en distillant les matières additionnées de chaux, on obtiendrait de l'ammoniaque à condenser; les gaz conduits dans des foyers spéciaux seraient brûlés, enfin les eaux résiduaires dépouillées de matières organiques rejoindraient les égouts et, traversant les champs d'épuration, y laisseraient les phosphates et la potasse qu'elles renferment.

Le traitement des vidanges par ce procédé, indiqué par M. Aimé Girard dans le remarquable rapport qu'il a écrit pour la commission de l'assainissement de Paris, pourrait être très avantageusement réalisé actuellement; il le sera certainement, quand l'épuisement du nitrate de soude donnera au sulfate d'ammoniaque une valeur assez grande pour que sa fabrication constitue par elle-même une industrie rémunératrice, malgré la dilution de plus en plus grande des matières des vidanges.

CHAPITRE VIII

LES ENGRAIS AZOTÉS SALINS. — SULFATE D'AMMONIAQUE ET NITRATE DE SOUDE.

L'emploi de ces deux sels est aujourd'hui très fréquent, il ne remonte pas à plus de vingt-cinq ou trente ans. Quand on les répand à propos, on en tire grand avantage, et nous devons exposer dans ce chapitre : l'origine de ces deux sels, indiquer dans quels sols, sur quelles plantes, à quelles doses, ces engrais présentent le plus d'efficacité.

SULFATE D'AMMONIAQUE

§ 204. — Origine et mode de préparation.

Nous avons indiqué déjà dans le chapitre précédent que la distillation des eaux vannes des dépotoirs, que celle des matières des vidanges produisent de l'ammoniaque qui, condensée dans l'acide sulfurique forme le sulfate d'ammoniaque; la calcination de la houille pour la fabrication du gaz de l'éclairage ou celle du coke, produit également de l'ammoniaque; enfin elle peut-être encore obtenue par la calcination en présence des alcalis des matières azotées animales trop stables pour être employées avantageusement comme engrais. Le prix de l'azote organique dans la plupart des engrais d'origine animale étant, au reste, en ce moment peu différent de celui de l'azote ammoniacal, il n'y a intérêt à établir cette fabrication que pour un nombre restreint de débris animaux.

Préparation à l'aide des eaux vannes. — Dans les fosses fixes l'urée provenant des urines se métamorphose rapidement en carbonate d'ammoniaque, très volatil, en outre les matières organiques azotées que renferment les vidanges sont assez attaquables par les alcalis pour que la chaux ajoutée dans les chaudières de distillation ne laisse qu'une faible fraction de l'azote primitif à l'état fixe.

Les liquides sont traités, ainsi qu'il a été dit déjà, dans de grandes colonnes analogues à celles qui servent à la distillation des vins dans les distilleries d'alcool; les appareils portent à la partie supérieure un serpentin ascendant qui continue la concentration et un serpentin descendant dans lequel se fait la condensation. Les liquides provenant des fosses sont introduits à la partie supérieure des appareils et s'échauffent d'abord au contact des vapeurs qui circulent dans le serpentin descendant, puis dans le serpentin ascendant; les liquides déjà échauffés descendent de *plateaux* en *plateaux*, la vapeur provenant de la chaudière inférieure élève suffisamment leur température pour que le carbonate d'ammoniaque se volatilise; la vapeur se rend dans les réservoirs renfermant de l'acide sulfurique à 50°; les liquides de plus en plus pauvres en ammoniaque descendent dans la chaudière où l'on a introduit un lait de chaux qui achève la décomposition des sels ammoniacaux fixes et celle des matières organiques azotées.

En général on obtient une dizaine de kilogrammes de sulfate

d'ammoniaque par mètre cube d'eau traitée; et ainsi qu'il a été dit dans le chapitre précédent, à mesure que les eaux pures distribuées dans les maisons sont plus abondantes, à mesure aussi les liquides des fosses sont moins chargés et leur distillation de moins en moins avantageuse.

Fabrication à l'aide des eaux d'épuration du gaz de l'éclairage. — La houille renferme en général un centième de son poids d'azote; quand on la distille, cet azote se dégage à l'état d'ammoniaque et reste dans les eaux qui se condensent, ou dans les matières qui servent à épurer le gaz; chauffées avec de la chaux ces matières donnent de l'ammoniaque qu'on retient dans de l'acide sulfurique; la fabrication du gaz de la ville de Paris fournit chaque année 8 mille tonnes environ de sulfate d'ammoniaque.

Ce sulfate d'ammoniaque de la houille bien épuré, est d'un emploi avantageux, mais il est très important de voir s'il ne renferme pas de sulfocyanure d'ammoniaque qui agit sur les végétaux à la façon d'un poison violent. On trouve particulièrement ce sel dans les sels ammoniacaux provenant des caisses d'épuration du gaz d'éclairage. Aussitôt qu'un échantillon de sulfate d'ammoniaque présente l'odeur empyreumatique, caractéristique des goudrons, on doit chercher s'il renferme des sulfocyanures; rien n'est plus facile que de les caractériser: ces sels solubles donnant avec le perchlorure de fer une coloration rouge des plus intenses. Toutes les fois qu'un sel ammoniacal présente cette réaction, il doit être impitoyablement rejeté, son emploi conduirait à des effets infiniment plus mauvais que l'absence complète de fumure.

Fabrication des sels ammoniacaux avec l'azote de l'air. — Cette fabrication a été essayée à bien des reprises différentes; s'il est aisé au laboratoire de combiner l'azote libre au charbon, de façon à obtenir des cyanures d'où on extrait facilement de l'ammoniaque, il n'en est plus de même quand on passe aux usines; la combinaison de l'azote et du carbone n'a lieu qu'à une température élevée, les appareils n'y résistent pas longtemps et jusqu'à présent cette fabrication n'a pu s'installer avantageusement (1).

Prix. — Le sulfate d'ammoniaque pur renferme 21 p. 100 d'azote, le sel du commerce est généralement garanti à 20 centièmes. Le prix varie de 30 à 40 francs les 100 kilos, ce qui met le kilo-

(1) Voyez un résumé sur ce sujet : *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 3e série, t. VI, p. 596.

gramme d'azote à un prix, compris entre 1 fr. 50 et 2 francs le kilog.

§ 205. — Emploi du sulfate d'ammoniaque.

Cet engrais ne doit pas être employé indifféremment sur tous les sols ; s'il est certaines terres où il présente une grande efficacité, il en est d'autres où son influence est nulle et même nuisible.

MM. Lawes et Gilbert l'emploient avec grand avantage : dans la mémorable expérience où ils ont maintenu sur le même champ, la culture continue du blé depuis 1844, ils donnent comme moyenne des rendements :

Récoltes de blé à l'hectare.

NATURE DES ENGRAIS.	POIDS de la RÉCOLTE ENTIÈRE en kilogr.	GRAINS EN HECTOLITRES.	POIDS DE L'HECTOLITRE.	PAILLE EN KILOGR.
Sans engrais	2340	11.81	73.5	1424
Fumier de ferme	6371	30.15	75.0	3998
Engrais minéral seul	2711	13.72	73.4	1639
Engrais minéral et 224 kil. sels ammoniacaux renfermant 48 kil. d'azote.	4511	21.71	74.4	2813
Engrais minéral et 448 kil. sels ammoniacaux renfermant 96 kil. d'azote.	6645	29.47	74.4	4223
Engrais minéral et 672 kil. sels ammoniacaux renfermant 144 kil. d'azote.	7651	32.62	74.0	5075
Engrais minéral et 616 kil. nitrate de soude renfermant 96 kil. d'azote...	7819	32.62	74.4	5250

Sous l'influence de la faible dose de sulfate d'ammoniaque, la récolte de grains a passé de 13^{hec},72 fournis par les engrais minéraux employés seuls à 21^{hec},71 ; quand on a doublé la dose de sel ammoniacal, la récolte est devenue 29^{hec},47, enfin elle s'est élevée jusqu'à 32^{hec}6 quand la dose d'engrais a été portée à 672 kilos de sels ammoniacaux renfermant 144 kilos d'azote ; il est à remarquer toutefois qu'elle a été précisément la même quand le sol a reçu seulement 96 kilos d'azote sous forme d'azote nitrique, ce qui indique qu'à Rothamsted, pour le blé, l'azote ammoniacal présente moins d'efficacité que l'azote nitrique.

En 1885, M. Porion et moi nous avons obtenu sur le champ d'expériences de Blaringhem les résultats suivants :

Récoltes de blé à épi carré à l'hectare.

Nature des engrais.	Poids de la récolte entière. — kilos.	Poids du grain. — kilos.	Poids de la paille. — kilos.
Fumier de ferme	10.245	3695	5950
Fumier : 300 kil. sulfate d'ammoniaque, 300 kil. superphosphate.	14.500	4850	8700
Fumier : 300 kil. nitrate de soude et 300 kil. superphosphate	14.750	4750	9250

Dans cette expérience le sulfate d'ammoniaque a exercé une action analogue à celle du nitrate de soude et lui a même été légèrement supérieur pour le grain, mais inférieur pour la paille, toutefois les 300 kilos de nitrate de soude ne renferment que 48 kilos d'azote, tandis que les 300 kilos de sulfate d'ammoniaque, en contiennent 60; d'où la preuve que l'azote nitrique est ici encore plus efficace que l'azote ammoniacal.

Sur le sol de Grignon, le nitrate de soude est aussi plus efficace que le sulfate d'ammoniaque; à forte dose celui-ci devient funeste, ainsi que le démontrent les exemples suivants :

Betteraves récoltées à l'hectare en 1877.

		Vilmorin améliorées. — kilos.	Collets roses. — kilos.
Sans engrais		30.600	46.600
Fumier de ferme		44.000	70.400
Azotate de soude	400 kilos.	34.600	57.300
	1200 —	29.800	56.400
Sulfate d'ammoniaque.	400 —	29.400	49.100
	1200 —	20.000	37.200

Moyenne des récoltes de pommes de terre obtenues en 1875-76-77-78 et 1879.

(Hectolitres de tubercules à l'hectare.)

		Hectolitres.
Sans engrais		244
Fumier de ferme		304
Azotate de soude	400 kil. à l'hectare	286
	1200 kil. à l'hectare en 75-76 et 77, rien depuis	278
Sulfate d'ammoniaque.	400 kil. à l'hectare	283
	1200 kil. à l'hectare en 75-76 et 77, rien depuis	250

Moyenne des récoltes de maïs fourrage, en tonnes à l'hectare, en 1876-77-78 et 79.

		Tonnes de fourrage vert.
Sans engrais		49.3
Fumier de ferme		79.9
Azotate de soude	400 kil.	59.6
	1200 kil. en 1876-77-78, rien en 1879	56.7
Sulfate d'ammoniaque.	400 kil.	53.4
	1200 kil. en 1876-77-78, rien en 1879	49.6

Sur le sol de Grignon, léger, un peu calcaire, le nitrate de soude est donc supérieur au sulfate d'ammoniaque pour la culture des betteraves Vilmorin aussi bien que pour les Collets roses, il est supérieur également, mais dans une faible mesure pour la culture des pommes de terre, supérieur encore pour celle du maïs fourrage.

Il est bien à remarquer, en outre, que ces deux engrais ont présenté plus d'efficacité quand ils ont été employés à faible dose que lorsqu'ils ont été appliqués en poids considérable.

Avant de formuler une conclusion sur ces résultats singuliers il convient de voir dans quel état se trouvait le sol après l'emploi de ces engrais salins; c'est ce que vont nous fournir les tableaux suivants :

Récoltes moyennes de sainfoin en 1879, 80 et 81, succédant aux betteraves de 1876-77 et maïs fourrage 1878.

		Foin sec récolté à l'hectare sur les résidus laissés par les cultures précédentes.
Toujours sans engrais		5.860
Fumier en 1875-76-77-78		8.269
Azotate de soude en 1876-77-78 et 79.	400 kilos	6.300
	1200 kilos (rien en 1878)	6.815
Sulfate d'ammoniaque en 1876-77-78.	400 kilos	5.827
	1200 kilos (rien en 1878)	4.295

Les résidus laissés par les fumures au fumier de ferme ont été très efficaces, ceux qu'a laissé le nitrate de soude ont porté la récolte au-dessus de la parcelle restée toujours sans engrais, mais la terre qui a reçu la faible dose de sulfate d'ammoniaque ne s'est pas trouvée en meilleur état que celle qui n'a pas eu d'engrais, et enfin les récoltes obtenues du sol qui a reçu la forte dose d'ammoniaque sont inférieures à toutes les autres.

Cet effet n'a pas été constaté seulement sur les cultures de sainfoin, mais aussi sur le blé, ainsi que le montre le tableau suivant :

Rendements moyens en quintaux métriques des récoltes de grains obtenues sous l'influence des résidus laissés par diverses fumures appliquées aux pommes de terre de 1875 à 1879. (Récoltes de 1880 à 1883.)

		Quintaux métriques.
Toujours sans engrais		18.75
Fumier de ferme		24.71
Azotate de soude	400 kil. de 1875 à 1879, rien depuis	21.09
	1200 kil. de 1875 à 1877, rien depuis	20.57
Sulfate d'ammoniaque.	400 kil. de 1875 à 1879, rien depuis	19.45
	1200 kil. de 1875 à 1877, rien depuis	17.77

Ces exemples suffisent pour montrer que : sur le sol de Grignon les engrais salins sont bien moins efficaces que le fumier, que le nitrate de soude produit plus d'effet à faible qu'à forte dose, que le sulfate d'ammoniaque toujours moins avantageux que le nitrate de soude devient nuisible ainsi qu'il a été dit déjà, aussitôt qu'on l'emploie en quantités considérables.

Cet effet fâcheux persiste pendant plusieurs années, ainsi que nous venons de le montrer, il doit donc être dû à une modification dans les propriétés du sol, qui mériterait une étude approfondie. Bien que cette étude n'ait pas encore conduit à des conclusions assez solides pour être formulées, il est possible de tirer déjà des faits précédents quelques indications utiles à la pratique agricole. Le point qu'il convient d'abord de mettre en lumière est le suivant : le sulfate d'ammoniaque exerce une action avantageuse à Rothamsted et à Blaringhem, il est plutôt nuisible à Grignon; or ces trois terres diffèrent essentiellement par la consistance, les terres de Rothamsted et de Blaringhem sont fortes, celle de Grignon est essentiellement légère; les premières ont dû être drainées, la troisième ne peut l'être, car elle souffre bien plus de la sécheresse que de l'humidité; il semble donc d'abord qu'on puisse conseiller aux cultivateurs d'employer sur les terres légères, plutôt le nitrate de soude que le sulfate d'ammoniaque.

Quand la terre de Grignon reçoit du sulfate d'ammoniaque, puis qu'elle se dessèche, elle ne tarde pas à se couvrir d'efflores-

cences de sulfate de chaux, dues à la réaction du sulfate d'ammoniaque sur le carbonate de chaux du sol, en même temps cette terre durcit, se lisse, l'argile est coagulée, cesse de former une pâte liante, et il semble que toutes les propriétés de dessiccation des terres légères s'y exagèrent; or nous avons constaté à bien des reprises différentes que les années sèches sont bien moins favorables à Grignon que les années humides, en 1888, la récolte du blé y a été tardive, les meilleures parcelles du champ d'expériences ont rendu la valeur de 60 hectolitres, en 1889 la moisson a été faite trois semaines plus tôt, les parcelles les mieux réussies n'ont donné que 40 hectolitres.

Nous avons vu (§ 30) que M. Muntz a montré que les plantes de grande culture assimilaient directement l'ammoniaque, il semble cependant que sous cette forme l'azote soit moins efficace que sous celle d'acide nitrique. M. Pagnoul en a donné récemment une nouvelle preuve : il a ensemencé en gazon un sable stérile, et a employé comme engrais outre les matières minérales, dans une première expérience : du sulfate d'ammoniaque seul, encore du sulfate d'ammoniaque mais additionné d'un peu de terre pour qu'il put se nitrifier, dans le second essai, et enfin dans le troisième : du nitrate de soude; et il a reconnu, que si avec le sulfate d'ammoniaque seul, le rendement était passable, il n'avait égalé celui qu'a fourni le nitrate de soude, que lorsqu'il a été employé dans des conditions telles que sa nitrification a été possible (1).

Il est bien à remarquer, en effet, que nous ignorons encore profondément quelles séries de métamorphoses subit l'azote dans l'organisme végétal, pour passer de l'état d'acide nitrique ou d'ammoniaque à celui d'albuminoïdes et on conçoit dès lors, que bien que les deux matières soient assimilables, elles puissent être utilisées à des degrés différents. Il est vrai que lorsque les conditions sont convenables les sels ammoniacaux se transforment en nitrates et que par suite après quelques temps une fumure de sels ammoniacaux équivaudra à une fumure de nitrates; s'il en est ainsi, si très habituellement c'est sous forme de nitrates que l'azote des sels ammoniacaux finit par être assimilé après sa transformation dans le sol, si le sulfate d'ammoniaque est surtout avantageux quand il se transforme facilement en nitrates, nous allons en tirer une conséquence pratique importante, car il est visible que cette ni-

(1) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 274.

trification se produira bien plus aisément dans les terres fortes que dans les terres légères. On se rappelle, et au premier abord cette proposition est contraire à la conclusion que nous voulons établir, que la nitrification exige une terre bien aérée, mais si cette condition d'aération est mieux remplie dans la terre légère que dans la terre forte, toutes les autres circonstances qui favorisent la nitrification se trouvent au contraire mieux remplies dans la terre forte : d'abord la terre légère, surtout quand la petite quantité d'argile qu'elle renferme a été coagulée par les sels solubles, se dessèche plus aisément que la terre forte, or la nitrification ne se produit que sous l'influence de l'humidité, quand la terre se dessèche tout s'arrête ; en outre, la nitrification n'est facile que dans un milieu renfermant de petites quantités de sulfate d'ammoniaque, en effet, le sulfate d'ammoniaque réagit toujours sur le carbonate de chaux du sol, pour donner du carbonate d'ammoniaque et celui-ci présente une réaction alcaline assez puissante pour entraver la nitrification ; elle ne se produira donc que si l'alcalinité du carbonate d'ammoniaque est combattue par les propriétés absorbantes, or dans la terre légère les matières colloïdales susceptibles d'absorber l'ammoniaque sont bien moins abondantes que dans la terre légère, par suite la nitrification y sera moins facile.

En résumé, nous arrivons à cette conclusion, le sulfate d'ammoniaque est surtout utile comme source de nitrates et il importe de bien préciser les conditions favorables à sa nitrification.

Influence de l'humidité. — La condition la plus favorable à la nitrification du sulfate d'ammoniaque est la présence dans le sol d'une dose d'humidité convenable. Il est facile de le montrer par l'expérience : en introduisant dans les terres des quantités d'eau variables, puis en maintenant les échantillons ainsi humectés dans une atmosphère saturée, on peut suivre l'influence qu'exerce sur la nitrification du sulfate d'ammoniaque la proportion d'humidité du sol ; on a obtenu ainsi les résultats suivants :

Nitrification dans une atmosphère saturée.

Eau introduite dans 100 gr. de terre.	Azote ammoniacal ajouté à 100 gr. de terre.	Acide azotique dosé.
15 cent. cubes.	0gr,020	0gr,070
12 —	Id.	0 ,096
10 —	Id.	0 ,066
8 —	Id.	0 ,032

A une exception près la quantité formée décroît en même temps que diminue la proportion d'eau introduite.

Influence des doses de sel ammoniacal employé. — L'activité de la nitrification décroît avec la quantité de sel ammoniacal introduite.

Nitrification de doses variables de sulfate d'ammoniaque dans 100 gr. d'une terre de jardin renfermant 32 pour 100 d'eau.

Azote ammoniacal introduit.	Acide azotique dosé après 34 jours.
gr.	gr.
0,000	0,013
0,020	0,075
0,040	0,070
0,060	0,060
0,080	0,042

Ainsi des doses énormes de sulfate d'ammoniaque peuvent encore se nitrifier dans un sol humide, mais elles se nitrifient moins bien que des doses moindres, et on conçoit dès lors que la terre forte, qui conserve l'humidité, qui absorbe l'azote ammoniacal, de façon que des dissolutions très étendues seules y circulent constituent un milieu de culture bien plus favorable au ferment nitrique que les terres légères et que par suite il faille éviter de donner à ces dernières des sels ammoniacaux.

§ 206. — Époques de l'épandage.

Tous les engrais solubles doivent être distribués au printemps, bien que pendant l'hiver la nitrification soit moins active que pendant l'été, l'élévation de la température exerçant une influence décisive, la transformation hivernale peut être cependant assez rapide pour entraîner dans le sous-sol tout l'azote introduit sur une terre qui ne porterait pas une végétation assez luxuriante pour retenir les nitrates formés.

MM. Lawes Gilbert et Warington ont donné la composition des eaux de drainage d'une parcelle de leur champ de blé qui recevait à l'automne 448 kilogrammes de sels ammoniacaux, avec une fumure minérale : les eaux étaient très chargées, le drainage de 1878 à 1881 a donné pour un mètre cube de cette parcelle, pendant l'hiver : $28^{gr},1$ d'azote nitrique par mètre cube, tandis que la parcelle qui recevait la même dose de sel ammoniacal au printemps, avec une fumure semblable d'engrais minéraux, n'en accusait, pendant cette période, que $5^{gr},4$ et bien que les proportions fussent renver-

sées au printemps, la parcelle qui avait reçu la fumure ammoniacale à l'automne perdait chaque année par hectare et par millimètre d'eau de drainage 193 grammes, contre 93 perdus par la parcelle qui avait reçu la fumure ammoniacale au printemps.

Malgré ces pertes les récoltes de ces deux parcelles ont été semblables (1).

Les praticiens diffèrent au reste d'opinion sur les avantages et les inconvénients que présente l'épandage des sels amoniacaux à l'automne ; les uns craignent les pertes par les eaux de drainage et se refusent à employer le sulfate d'ammoniaque à l'automne, tandis que d'autres jugent que l'avantage de donner dès la semaille assez de vigueur au blé pour qu'il puisse supporter les rigueurs de l'hiver compense et au delà la perte qu'occasionne la nitrification pendant la mauvaise saison.

A cette époque la nitrification n'est pas très active, on verra au moins dans l'observation suivante, que dans un sol de Grignon, les pertes pendant l'hiver ont été médiocres.

On a recueilli les eaux de drainage pendant toute l'année 1890 et le commencement de 1891, non seulement d'un vase qui avait reçu une très forte dose de sulfate d'ammoniaque : 12 grammes pour 50 kilos de terre, mais d'un vase renfermant une terre semblable, restée sans addition, de façon à pouvoir déduire de la comparaison des nombres observés l'activité de la nitrification.

Eaux de drainage et azote nitrique provenant d'une terre épuisée additionnée ou non de sulfate d'ammoniaque.

	Eaux de drainage.		Azote nitrique.	
	Terre sans addition, cent. cubes.	Terre avec sulfate d'ammoniaque, cent. cubes.	Terre sans addition, milligr.	Terre avec sulfate d'ammoniaque, milligr.
6 au 24 janvier 1890..	2.900	1.910	52	112
24 janvier au 3 février.	1.840	3.150	27	178
3 février au 4 mai ...	1.960	1.950	68	129
4 mai au 31 mai.....	3.330	2.680	124	153
3 juin au 15 juillet...	7.850	6.820	375	2.039
	17.880	16.510	646	2.611

Il est manifeste que dans cette expérience la terre n'est pas devenue plus filtrante après avoir reçu le sulfate d'ammoniaque bien

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 359.

que cependant il se soit formé du sulfate de chaux qu'on a trouvé dans les eaux de drainage.

En comparant les quantités de nitrates formées nous trouvons que dès le début, ils sont plus abondants dans la terre au sulfate d'ammoniaque que dans celle qui en a été privée ; toutefois pendant l'hiver la nitrification de l'ammoniaque n'est pas très active ; ainsi pendant le commencement de janvier, la différence a été de 60 milligrammes, puis de 121 pendant la fin de janvier et les premiers jours de février ; ces quantités ne sont pas assez considérables pour entraîner de grandes pertes sur une pièce emblavée en blé.

Il est vraisemblable, en revanche que les nitrates formés auraient donné au blé une grande vigueur ; que par suite le premier effet de l'épandange eût été avantageux, malheureusement à Grignon au moins, le printemps a été relativement sec et la nitrification du sulfate d'ammoniaque très peu active, de telle sorte que c'est au moment où la plante aurait eu besoin de la nourriture la plus abondante, que la nitrification a été la plus faible ; c'est seulement au moment des grandes pluies d'été qu'elle s'est produite, mais à cette époque il était déjà trop tard pour que le blé en profitât.

Les 12 grammes de sulfate d'ammoniaque distribués au mois de novembre 1889, renfermaient environ $2^{gr},5$ d'azote, et si nous comparons les quantités d'azote, contenues dans les eaux de drainage de la terre sans addition à celles que renferme le drainage de la terre qui a reçu du sulfate d'ammoniaque, nous trouvons que la différence $2.611 - 0,646 = 1^{gr},965$, par conséquent, à la fin de juillet, tout l'azote n'était pas encore nitrifié.

Les dosages continués jusqu'en février 1891 ont montré que les eaux de drainage de la terre qui a reçu le sulfate renfermaient $0^{gr},574$ d'azote nitrique, une terre semblable non additionnée de sel ammoniacal en renfermait 335 milligrammes, on peut donc supposer que $0^{gr},239$ d'azote a encore été nitrifié, en les ajoutant à celui qui a été recueilli précédemment, on ne trouve pas encore tout à fait la quantité d'azote introduite. Dans une terre légère la nitrification du sulfate d'ammoniaque est donc assez lente ; il est possible qu'il reste longtemps dans le sol, du carbonate d'ammoniaque dont l'action sur les plantes peut être funeste à cause de son alcalinité, d'où nous concluons de nouveau que le sulfate d'ammoniaque ne doit être employé qu'avec beaucoup de ménagement.

Quand dans ces sortes de terre on distribue cet engrais au printemps peu de temps avant les semailles de betteraves, il arrive

parfois que la levée se fait mal, ou même pas du tout, le sulfate ou le carbonate d'ammoniaque qu'il produit serait donc vénéneux pour les jeunes racines.

En résumé, on voit que le sulfate d'ammoniaque n'est pas un engrais qu'on puisse répandre sur toutes les terres, à toutes doses, ni distribuer à toutes les époques.

Les observations que j'ai recueillies me conduiraient à penser que le sulfate d'ammoniaque doit être réservé aux terres fortes, à raison de 150 à 200 kilos à l'hectare; les fumures plus abondantes produisent parfois un effet un peu plus marqué, mais sans grand profit, l'excès de récolte obtenu ne payant plus que très médiocrement la dépense faite.

Quant à l'époque d'épandage, je croirais que sur les terres fortes, il peut être bon de répandre une très faible dose de sulfate d'ammoniaque à l'automne en conservant le surplus pour le printemps. Enfin il y a souvent de graves dangers à répandre le sulfate d'ammoniaque avant les semailles sur une terre qui va porter des betteraves; la causticité du carbonate d'ammoniaque formé pouvant être nuisible, et je crois que l'épandage à la volée ou mieux au semoir entre les lignes des jeunes plantes déjà levées est préférable.

Ces restrictions conduisent naturellement à comparer l'un à l'autre le sulfate d'ammoniaque et le nitrate de soude, c'est ce que nous ferons quand nous aurons étudié le nitrate de soude.

NITRATE DE SOUDE.

§ 207. — Gisement. — Extraction.

Le nitrate de soude s'extrait en grande quantité d'un immense gisement situé dans l'Amérique du sud sur les côtes du Pacifique, dans la province de Tavalapa (Pérou) et dans le désert d'Atacama (Bolivie). Le nitrate de soude s'y trouve en couches variant de 3 à 1 mètre, souvent recouvertes d'une couche d'argile agglutinée, le nitrate est mélangé à des proportions variables de sel marin, de sulfate de soude et à de petites quantités d'iodure et même d'iodate de potassium.

On suppose que l'acide azotique provient de l'oxydation d'anciens gisements de guano : du nitrate de chaux aurait été formé par l'activité du ferment nitrique, agissant sur le mélange de sels ammoniacaux et de phosphate de chaux du guano; ce nitrate entraîné par

les eaux, aurait rencontré un gisement de sel provenant de l'évaporation d'eau de mer; il se serait fait un double échange entre le nitrate de chaux et le chlorure de sodium donnant du chlorure de calcium déliquescent qui a disparu et du nitrate de soude qui a persisté mélangé avec les autres sels qui existent dans l'eau de mer et qui ne sont pas déliquescents; le chlorure de magnésium aurait été entraîné, car il ne se trouve dans le mélange des sels exploités qu'en faible proposition.

D'après cette manière de voir, le nitrate de soude ne se serait pas produit là où il existe actuellement, sa formation serait due à la rencontre du nitrate de chaux et du sel marin, mais il reste à comprendre l'origine de l'iodate de potasse qu'on trouve en quantité assez notable pour que l'extraction de l'iode des eaux mères soit avantageuse; en effet, l'iodure de potassium a évidemment une origine marine, pour qu'il se soit oxydé, il faut que les ferments aient agi, après le mélange du nitrate de chaux au sel marin et on a quelque peine à concevoir que le ferment nitrique continue à fonctionner dans un milieu saturé de sel; on sait au moins que dans la terre arable, la présence du chlorure de sodium en quantité un peu notable empêche la nitrification.

Pour extraire le nitrate de soude, on concasse par des coups de mine la masse saline, puis on introduit les fragments dans de grandes chaudières, où a lieu la dissolution de l'azotate de soude dans l'eau bouillante; les liquides saturés abandonnés au refroidissement laissent cristalliser un sel contenant de 94 à 96 centièmes de nitrate de soude, les eaux mères portées à l'ébullition sont employées à la dissolution d'une nouvelle quantité de sel brut; après quelques traitements elles sont assez riches en iodates pour être utilisées à l'extraction de l'iode.

§ 208. — Composition. — Prix. — Falsifications.

Le nitrate de soude renferme 16 centièmes d'azote environ $\left(\frac{1400}{85} = 16.47\right)$, il est souvent mélangé frauduleusement à du sable et plus souvent encore à du sel marin qui l'un et l'autre diminuent beaucoup sa valeur. Il n'est pas rare que le nitrate renferme 5, 6 ou 7 centièmes de sel marin ajoutés par fraude, ou laissés dans le produit par suite d'une mauvaise fabrication; si un semblable mélange est payé au prix ordinaire du nitrate de soude, le culti-

vateur est lésé, il paie un prix trop élevé; l'analyse de ce sel s'impose donc aussi bien que celle de tous les autres engrais.

La quantité de nitrate importée en Europe s'élève à environ 500.000 tonnes chaque année, le prix du nitrate varie de 20 à 30 francs les 100 kilogrammes.

§ 209. — Emploi du nitrate de soude.

Le nitrate de soude est un engrais d'une remarquable efficacité, contrairement à ce qui arrive pour le sulfate d'ammoniaque qui ne convient pas aux terres légères, il exerce sur tous les sols une influence marquée; les plantes qui l'ont reçu sont plus vigoureuses que celles qui en ont été privées, elles présentent une couleur d'un vert foncé qui permet de reconnaître même de loin les parties d'un champ qui ont été nitratées.

Il n'y a pas d'avantage à exagérer la quantité distribuée, les doses de 200 à 300 kilogrammes à l'hectare sont en général suffisantes. Le nitrate doit toujours être appliqué au printemps; il est très soluble dans l'eau, non retenu par le sol et par suite il serait complètement entraîné dans les eaux de drainage s'il était distribué à l'automne.

Le nitrate est souvent aggloméré en gros morceaux, il faut avant de porter aux champs les sacs reçus des marchands, les vider, briser le nitrate et en outre le mélanger avec de la terre toutes les fois qu'il doit être épandu à la volée, de façon à le bien répartir sur toute la surface des champs. Il est à remarquer que le nitrate de soude exerce une action corrosive sur les plaies; il ne faudrait donc pas charger de la distribution, un ouvrier qui aurait aux mains des coupures ou des écorchures. Il est important de savoir, en outre, qu'à dose un peu forte les nitrates sont vénéneux; des vaches sont mortes, dans une ferme de Seine-et-Marne, pour avoir bu dans un baquet de l'eau ayant servi au lavage de sacs à nitrate.

Il arrive souvent qu'on donne une fumure composée de nitrates et de superphosphates, il importe dans ce cas d'employer ces engrais séparément, l'acide libre contenu dans les superphosphates décomposant les nitrates occasionne des pertes sensibles, dont on est averti par l'odeur nitreuse que présente le mélange.

Le nitrate de soude est particulièrement précieux pour donner une certaine vigueur aux parties d'un champ qui se trouvent en mauvais état, soit par suite de la qualité des graines, soit à cause

de mauvaises semailles, il arrive souvent que les points qui ont été ainsi *raccommodés* suivant l'expression consacrée, par l'épandage à la volée du nitrate au premier printemps, portent des récoltes plus fortes et plus belles que celles, qui étant en meilleur état au printemps, n'ont pas reçu la fumure complémentaire de nitrate.

Quand on se rappelle que la soude ne fait pas habituellement partie des cendres des végétaux, on peut être étonné de voir au nitrate de soude une remarquable efficacité, mais on ne doit pas oublier que les matières introduites dans le sol y réagissent sur les substances que ce sol renferme naturellement et que par suite, une terre qui a reçu de l'azotate de soude, renferme bientôt de l'azotate de potasse et de l'azotate de chaux formés aux dépens des carbonates de potasse ou de chaux contenus dans le sol; ce sont ces nitrates qui sont assimilés.

Ce sont eux, en effet, qu'on trouve parfois en quantités considérables accumulés dans divers organes des végétaux, où ils constituent des réserves, quelquefois assez abondantes, pour donner aux plantes des propriétés vénéneuses; nous avons déjà insisté sur ce point (page 107), et nous n'avons pas à y revenir.

Il peut arriver que dans certains sols pauvres en potasse assimilable, les transformations de l'azotate de soude en azotate de potasse soient difficiles et que le salpêtre soit plus efficace que le nitrate de soude; c'est ce qu'avait constaté, il y a quelques années M. Esler, directeur de la station agronomique de Gœttingue, sur une culture de pommes de terre, mais, en répétant cette expérience au Muséum, également sur une culture de pommes de terre, j'ai obtenu exactement le même résultat de l'emploi du nitrate de soude et de celui du nitrate de potasse.

On emploie avec grand avantage le nitrate de soude seul ou quelques jours après l'épandage de superphosphates sur les cultures de blé succédant aux betteraves qui ont reçu une forte fumure de fumier de ferme.

Pendant l'année 1889 où les récoltes de blé ont été médiocres dans le nord de la France à cause de la verse qui s'est produite sur presque toutes les variétés, on a obtenu à Grignon les rendements les plus élevés se montant à 33 et même $34^{mq},5$ de grain sur les parcelles qui avaient reçu en 1888 une forte fumure de fumier pour betteraves et seulement de l'azotate de soude au printemps, et je crois que ce mode de fumure est encore plus efficace sur les terres fortes que sur les terres légères; les grandes récoltes de blé à

épi carré réalisées à Wardrecques en 1886 et qui se sont élevées à 50 quintaux métriques à l'hectare n'avaient reçu que du nitrate de soude ou de sulfate d'ammoniaque, mais succédaient à des betteraves fortement fumées l'année précédente.

Emploi du nitrate de soude mélangé au fumier. — Sur les terres un peu légères comme celles de Grignon, le nitrate exerce son maximum d'action, quand son influence s'ajoute à celle du fumier de ferme.

On a obtenu à Grignon, dans la culture continue de l'avoine les nombres suivants :

Hectolitres de grain recueillis à l'hectare.

	1878.	1879.	1880.	1881.
Sans engrais	51.10	27.90	53.70	31.00
Azotate de soude	54.40	38.40	46.25	29.00
Fumier	52.30	52.40	43.80	32.75
Azotate de soude et fumier.	56.20	66.30	82.50	55.00

Pendant les quatre années, c'est la fumure : azotate de soude-fumier qui a donné les plus fortes récoltes, en 1880, elle a été particulièrement efficace.

En 1888, deux parcelles du champ d'expériences ont donné l'une, 39 hectolitres de blé à épi carré, l'autre 60^{hect},3, les terres qui ont fourni ces admirables récoltes avaient reçu l'une et l'autre du fumier et de l'azotate de soude ; cette même année le rendement de l'avoine à grappes est monté à 37^{qm},8 correspondant à 84 hectolitres à l'hectare avec une faible fumure de fumier et de nitrate de soude, tandis que sans engrais on restait à 71 hectolitres.

Mais c'est particulièrement pour la culture de la betterave que ce mélange est avantageux :

En 1887 on a obtenu :

	Racines Vilmorin à l'hectare.
Azotate de soude seul	20.700 kilos.
Sulfate d'ammoniaque seul	17.800 —
Fumier et azotate de soude	40.000 —

En 1888 :

Azotate de soude et sulfate d'ammoniaque...	25.320 —
Fumier et azotate de soude	40.100 —

En 1889 :

Azotate de soude seul	35.600 —
Fumier et azotate de soude	40.050 —

A Rothamsted le Dr Gilbert a employé pendant dix ans de 1876 à 1881 du fumier seul pour la culture des pommes de terre, la variété médiocrement prolifique employée a fourni 11.534 kilogrammes à l'hectare, quand au fumier s'est ajouté pendant ces mêmes années du superphosphate, la récolte est montée à 12.161 kilogrammes, et enfin quand on a distribué à la fois du fumier, du nitrate et du superphosphate on a obtenu 14.782 kilogrammes. Cette dernière fumure est donc la plus efficace.

Elle est au reste très répandue actuellement pour les betteraves par exemple, il est très avantageux de distribuer à l'automne du fumier et de superphosphate, et de compléter la fumure au printemps avec du nitrate de soude.

Influence du nitrate de soude pendant les années de sécheresse. — MM. Lawes et Gilbert ont fourni un très bel exemple de l'influence du nitrate de soude sur le rendement d'une prairie pendant une année d'extrême sécheresse (1).

En moyenne, il tombe à Rothamsted pendant les mois d'avril, de mai et de juin $162^{mill},5$ d'eau, pendant l'année 1870, cette quantité fut seulement de $76^{mill},25$ par conséquent inférieure de moitié aux précipitations habituelles, aussi, la récolte de foin fut-elle très médiocre sur les parcelles restées sans engrais; elle le fut également sur celles qui reçurent des engrais minéraux et des sels ammoniacaux, mais au contraire elle conserva presque sa valeur habituelle sur les parcelles qui avaient reçu en même temps que les engrais minéraux du nitrate de soude; c'est ce que montre le tableau suivant.

Foin par hectare.

FUMURES EMPLOYÉES.	1870.	MOYENNE de 1856 à 1870.	DÉFICIT en 1870.
	Kilos.	Kilos.	Kilos.
Sans engrais	725	2771	2046
Engrais minéraux et sels ammoniacaux.	3625	6527	2902
Engrais minéraux et azotate de soude...	7000	7250	250

Le déficit si sensible pour les autres parcelles le fut beaucoup moins pour celles qui avaient reçu comme engrais, les nitrates.

(1) *Ann. agr.*, t. I, p. 251-551.

Ceux-ci se sont donc montrés beaucoup plus efficaces que les sels ammoniacaux ; pendant les années humides la différence entre les deux engrais azotés est souvent minime, car l'ammoniaque se nitrifie aisément, mais la nitrification s'arrête pendant les années sèches; aussi, en 1870, les plantes n'acquirent qu'une médiocre vigueur qui les empêcha de tirer parti des réserves d'humidité du sous-sol comme le firent celles de la parcelle au nitrate de soude, c'est ce qui ressort très nettement des nombres suivants observés à diverses profondeurs du sol en prairie.

Humidité dans diverses couches de la terre de la prairie en 1870.

PROFONDEUR à laquelle ont été pris les échantillons.		HUMIDITÉ POUR 100 DANS LES SOLS.		
		Parcelle 3 sans engrais.	Parcelle 9 engrais minéral et sels ammoniacaux.	Parcelle 14 engrais minéral et nitrate de soude.
	cent.			
Premiers.....	22.5	10.83	13.00	12.16
Seconds.....	Id.	13.34	10.18	11.80
Troisièmes	Id.	19.23	16.46	15.65
Quatrièmes.....	Id.	22.71	18.96	16.30
Cinquièmes.....	Id.	24.28	20.54	17.18
Sixièmes.....	Id.	25.07	21.34	18.06
Moyenne.....		19.24	16.75	15.13

Il est facile de voir à la lecture des quantités d'eau contenues dans les parties inférieures du sol de Rothamsted en 1870, que les plantes sans engrais n'ont pas produit des racines assez longues pour aller s'y abreuver, déjà à 67^{cc}.5 de profondeur la quantité d'eau est de 19.23 p. 100, quantité telle, que si les racines avaient atteint ces couches, elles y auraient trouvé une provision suffisante pour combattre victorieusement la sécheresse. En réalité ces racines ne se sont étendues que dans les deux couches superficielles ; les plantes de la parcelle 9 ont envoyé leurs racines un peu plus bas, les troisième et quatrième couches ont déjà perdu plus d'eau que les couches correspondantes de la parcelle 3, mais elles ont été cependant beaucoup moins desséchées que celles de 14, qui dans toutes les couches profondes ont moins d'eau que les parcelles 9 et 3.

On voit que les racines de l'herbe, qui a reçu le nitrate de soude, sont devenues assez fortes, assez puissantes pour aller chercher l'eau qui manquait dans les couches superficielles, pénétrer jus-

qu'à 1m,35 de profondeur et y trouver des réserves telles que la plante n'a pas souffert de la sécheresse.

Il y a donc à noter l'influence heureuse du nitrate de soude en temps de sécheresse et à retenir surtout que le sous-sol a servi de réservoir d'humidité; il faut remarquer enfin que la capillarité a été impuissante à faire remonter l'eau des couches profondes à la superficie et que c'est seulement dans le cas où le sol était couvert de plantes vigoureuses à racines puissantes que la sécheresse a été vaincue.

§ 210. — Perte du nitrate de soude par les eaux de drainage.

MM. Lawes, Gilbert et Warington ont constaté au champ de blé de Rothamsted que la parcelle qui recevait chaque année du nitrate de soude subissait au printemps des pertes plus grandes que celles qu'on observait sur les parcelles fumées avec des sels ammoniacaux, renfermant la même quantité d'azote que le nitrate de soude; on en jugera par les nombres suivants donnant, en grammes, la quantité d'azote nitrique contenue dans un mètre cube, pendant les trois années 1878-81.

FUMURES EMPLOYÉES.	DES SEMAILLES du printemps à la fin de mai.	DE JUIN jusqu'à la récolte.	DE LA RÉCOLTE aux semailles d'automne.	DES SEMAILLES d'automne aux semailles du printemps.	MOYENNE.	AZOTE perdu en un an par hectare et par millimètre.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
448 kil. sels ammoniacaux et fumure minérale.....	27.1	1.4	7.3	5.4	6.8	68
616 kil. nitrate de soude et fumure minérale.....	30.4	9.1	15.0	7.8	12.5	125

Les pertes qu'occasionne une forte fumure de nitrate de soude sont donc notables; pour 250 millimètres d'eau de drainage elles seraient de 16 kilogrammes d'azote avec la fumure aux sels ammoniacaux et de 31 pour le nitrate de soude.

Nous avons souvent constaté à Grignon que quand les plantes cultivées: avoines, ray-grass, étaient vigoureuses, la teneur en azote des eaux de drainage s'écoulant d'une terre fumée au nitrate de soude était très faible, mais il est à remarquer que nous avons em-

ployé des doses moyennes, tandis qu'à Rothamsted elles étaient excessives.

Il est manifeste cependant que si des pluies abondantes suivent au premier printemps l'épandage du nitrate les pertes peuvent être considérables, c'est une mauvaise chance à courir, malgré cela, à égalité d'azote, l'emploi du nitrate de soude est généralement plus avantageux que celui des sels ammoniacaux, c'est au reste ce qui découle du § suivant.

§ 211. — Valeur comparée de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique.

M. Warington a publié sur ce sujet (1) un travail d'un haut intérêt, il y compare les résultats obtenus par les deux engrais : sulfate d'ammoniaque et nitrate de soude, sur deux terres fort différentes, celle de Rothamsted qui est une marne argileuse, terre forte par conséquent, et celle de Woburn qui est sablonneuse et par suite légère.

En appliquant des quantités égales d'azote à l'état de sel ammoniacal et de nitrate sur la culture de l'orge, on trouve que la production du grain par l'ammoniaque est à Rothamsted 86.8 p. 100 de celle du nitrate et à Woburn 86.6, par conséquent au point de vue de la production du grain, l'azote nitrique est légèrement supérieur, il l'est beaucoup plus pour la production de la paille ; si nous faisons égale à 100 la quantité de paille produite par le nitrate, celle de l'ammoniaque est 79.8 à Rothamsted et 75.9 à Woburn.

Sur le froment, la valeur relative du nitrate de soude et des sels ammoniacaux a été différente à Rothamsted et à Woburn.

A Rothamsted, avec une application de sels ammoniacaux faite le plus souvent à l'automne, la production de grain pour deux séries d'expériences pendant trente années est, pour l'ammoniaque, égale à 74.8 p. 100 de celle qu'a fournie le nitrate ; l'expérience la plus favorable à l'emploi de l'ammoniaque a donné une production de 78.4 p. 100.

A Woburn où l'application du sulfate d'ammoniaque a été faite au printemps, la production par cet engrais pour trois séries d'expériences pendant onze ans est égale à 95.7 p. 100 de celle obtenue à l'aide du nitrate. Sur les deux sols, l'ammoniaque donne

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 213.

un rendement en paille bien moins élevé que celui du grain.

Il est à remarquer que, du nitrate de soude employé seul, on obtient des récoltes passables, tandis que les sels ammoniacaux ne fournissent dans les mêmes circonstances, que des rendements très faibles tant qu'on n'ajoute pas des engrais minéraux. Le nitrate de soude solubilise évidemment les éléments des cendres naturellement contenus dans la terre et les rend beaucoup plus assimilables par la récolte, que ne le fait l'ammoniaque.

Cela est particulièrement évident pour la culture des graminées. Quand on applique le nitrate de soude ou les sels ammoniacaux seuls, le rendement relatif est pour une période de dix-huit ans comme 100 est à 31.3, tandis qu'en ajoutant aux engrais azotés des sels de potasse et des superphosphates, le rapport devient pendant la même période 79.5 et pour une plus longue période (vingt-huit ans) 85.7. Le résultat est le même avec les pommes de terre. Pendant une période de douze ans, le rendement par le nitrate ou les sels ammoniacaux appliqués seuls a été dans la proportion de 100 à 46.7, mais après addition de phosphates et de potasse le rapport est devenu : 100 à 99.4.

Sur les navets, l'addition des engrais minéraux au sel ammoniacal exerce aussi une excellente influence : pendant dix ans le rendement pour le nitrate et le sulfate d'ammoniaque employés seuls est comme 100 à 26.5 et avec les engrais minéraux le rendement des nitrates étant 100, celui du sulfate d'ammoniaque devient 74.

D'une façon générale, une saison chaude et sèche est bien plus favorable à l'action des nitrates qu'à celle du sulfate d'ammoniaque, tandis que le contraire a lieu quand la saison est humide. C'est ce que montre très bien la comparaison des récoltes obtenues à Woburn pendant la saison humide de 1882 et sèche de 1887.

Production du blé à Woburn.

Engrais employé.	1882. Saison humide. Hectolitres.	1887. Saison sèche. Hectolitres.
Nitrate de soude	23.45	31.57
Sels ammoniacaux	28.86	23.56
Nitrate et engrais minéraux	29.34	36.30
Sels ammoniacaux et engrais minéraux.	31.68	26.83
Nitrate (quantité double) et engrais minéraux	32.24	39.46
Sels ammoniacaux (quantité double) et engrais minéraux	39.23	32.92

Comme on le voit, les sels ammoniacaux ont l'avantage en 1882 pendant la saison humide, les nitrates en 1887 pendant la saison sèche.

« Bien qu'il soit impossible à un cultivateur de prévoir le caractère d'une saison et de choisir son engrais en conséquence, les faits que nous venons de mentionner indiquent cependant que dans un climat sec, il vaut mieux employer le nitrate de soude, tandis que dans un climat humide le sulfate d'ammoniaque est plus avantageux. »

M. Warington arrive donc ici exactement aux conclusions que nous avions déjà formulées plus haut, en effet, uue terre légère qui retient mal l'eau, se trouve être naturellement dans le cas d'une saison sèche, tandis que c'est l'inverse pour une terre forte ; nous n'avons donc qu'à répéter en terminant ce chapitre, les sels ammoniacaux doivent être réservés aux terres fortes, le nitrate de soude aux terres légères.

CHAPITRE IX

FUMIER DE FERME. — GADOUES.

Le fumier de ferme est employé, depuis un temps immémorial, comme engrais, et pendant des siècles a seul été utilisé pour fertiliser la terre; aujourd'hui même, malgré les progrès qu'a réalisés l'agronomie, nombre d'exploitations n'utilisent que le fumier, et dans celles qui achètent des engrais de commerce, le fumier reste la plus importante des matières fertilisantes ; on ne saurait donc apporter trop de soin à son étude.

Elle comprend deux parties : fabrication du fumier, emploi du fumier ; chacune de ces parties est divisée en nombreux paragraphes.

Fabrication du fumier.

§ 212. Détermination des matières qui donnent au fumier sa valeur. Préparation des matières ulmiques.

§ 213. Composition des urines et des excréments du bétail.

§ 214. Composition des litières.

§ 215. Fermentations qui se produisent dans le tas de fumier.

§ 216. Origine des matières azotées du fumier.

§ 217. Pertes d'azote pendant la fabrication.

§ 218. Pertes d'azote des fourrages consommés par les animaux.
§ 219. Composition immédiate du fumier.
§ 220. — élémentaire — .
§ 221. Dispositions diverses données aux fumières.
§ 222. Pertes que subit le fumier exposé à l'air.
§ 223. Arrosages du fumier.

Emploi du fumier.

§ 224. Emploi du fumier sur les terres fortes.
§ 225. — — légères.
§ 226. Emploi simultané du fumier et des engrais salins.
§ 227. Des transformations que subit, dans le sol, le fumier enfoui.
§ 228. Emploi des fumiers frais et des fumiers consommés.
§ 229. Durée d'action du fumier. — Fumures mixtes.
§ 230. Emploi du fumier enfoui ou en couverture.
§ 231. Composts. — Mélange du fumier à la chaux.

Nous terminerons ce chapitre en indiquant § 231 la composition des engrais de ville, des *gadoues*, très employées aux environs de Paris.

§ 212. — Détermination des matières qui donnent au fumier sa valeur. — Production des matières ulmiques.

Tous les agronomes sont d'accord sur ce point : que l'azote, l'acide phosphorique et la potasse que renferme le fumier contribuent dans une large mesure à son efficacité; mais les uns attachent à ces matières, un tel intérêt, qu'ils sont disposés à conduire la fabrication du fumier de façon à éviter avec le plus grand soin leur déperdition; d'autres, au contraire, tout en estimant ces principes à leur juste valeur, pensent que ce n'est pas à leur seule présence que le fumier doit son action fertilisante; ils y voient surtout la matière première des composés ulmiques qui exercent, sur la fertilité, une influence de jour en jour mieux reconnue, et consentent à perdre une fraction de l'azote du fumier, si cette perte est nécessaire pour assurer la formation de ces composés ulmiques.

De ces deux manières de voir dérivent deux méthodes bien différentes de traiter le fumier; dans la première, on n'hésitera pas à lui ajouter des substances telles que des sulfates, même de l'acide

sulfurique, pour décomposer le carbonate d'ammoniaque volatil; dans l'autre, au contraire, on blâme ces additions; on veut conserver aux liquides du fumier leur réaction alcaline, qui est la condition même de la fermentation très particulière qui prend naissance dans la masse, et y détermine la destruction de quelques-uns des principes de la paille, l'altération d'un autre : la vasculose, jusqu'à l'amener à cet état de substance noire désignée sous le nom d'humus.

A notre avis, le fumier vaut non seulement par l'azote nitrifiable qu'il renferme, par ses phosphates, par les carbonates alcalins qui ont sans doute un rôle fort important à remplir, il vaut, en outre et surtout, par sa matière organique plus ou moins altérée, qui est, nous le répétons, la matière première de l'humus.

Si, dans les terres fortes comme celle de Rothamsted, où MM. Lawes et Gilbert ont pu maintenir indéfiniment la culture du blé en l'alimentant seulement d'engrais salins; si, dans le col que cultive M. Prout également en Angleterre, et qui porte exclusivement des céréales, la nécessité de reconstituer l'humus, constamment en voie de destruction par l'action des microorganismes du sol, n'est pas évidente pour la culture des céréales; il n'en est sans doute pas de même pour d'autres végétaux, et notamment pour les légumineuses; il n'en est surtout pas ainsi dans les terres légères comme celles de Grignon, où je n'obtiens de pleines récoltes qu'à la condition de joindre aux engrais salins de copieuses fumures de fumier de ferme.

Si le rôle de l'humus, comme aliment pour certaines espèces végétales, n'est pas admis par tous les agronomes, tous sont d'accord sur le rôle encore mal défini, mais important, que remplit le fumier en apportant au sol la matière première de l'humus qui maintient ensemble en dissolution des principes minéraux, acide phosphorique, chaux, oxyde de fer qui dans une dissolution dépouillée de matières organiques se précipitent les uns les autres. On subordonne au reste l'idée de préserver de toutes déperditions l'azote que renferment les déjections des animaux à celle de préparer la matière ulmique, on juge que cette préparation est le point secondaire ou essentiel de la fabrication, suivant la nature des terres cultivées, et nous verrons que les cultivateurs des terres fortes, dans lesquelles l'humus ne disparaît que lentement, n'attachent pas à la production d'un fumier fermenté le même intérêt que les cultivateurs des terres légères.

Nous essaierons, dans ce chapitre, de montrer le plus clairement qu'il nous sera possible comment doit être conduite la fabrication du fumier consommé; il sera toujours possible à ceux qui jugent utile d'employer le fumier frais, d'arrêter la fermentation avant qu'elle ait produit tout son effet.

Les matières premières de la fabrication du fumier sont, d'une part, les déjections des animaux, et de l'autre les litières de paille destinées à recueillir les liquides et les solides excrétés ; pour comprendre les réactions qui s'établissent entre ces matières animales et végétales pendant qu'elles séjournent sur la plateforme à fumier, il convient d'abord d'exposer leur composition.

§ 213. — Composition des déjections des animaux.

Les déjections varient en poids et en composition avec le régime auquel sont soumis les animaux; nous donnons cependant comme exemple les chiffres suivants, qui ne portent que sur les matières destinées à jouer un rôle essentiel dans les réactions qui constituent le fumier.

En joignant leurs propres observations à celles de leurs devanciers, MM. Audoynaud et Zacharewicz sont arrivés à dresser le tableau ci-joint :

			Cheval.	Vache
Pour 1000 parties	d'urine.....	Azote.....	15.21	10.50
		Acide phosphorique.	traces	traces
		Potasse.....	9.24	13.60
	d'excréments.	Azote.....	5.58	4.35
		Acide phosphorique.	3.50	1.20
		Potasse.....	1.00	0.42

La plus grande partie de l'azote qui arrive au fumier se trouve dans les urines à l'état d'urée, qui se métamorphose très rapidement en carbonate d'ammoniaque, sous l'influence du ferment découvert par M. Van Tieghem, d'après l'équation connue :

$$CH^4Az^2O+2H^2O=CO^3(AzH^4)^2.$$

Quant à la potasse, elle se trouve en partie à l'état de bicarbonate, en partie combinée aux acides hippurique et urique contenus dans les urines; l'acide phosphorique se rencontre surtout dans les excréments solides.

MM. Audoynaud et Zacharewicz ont calculé qu'une vache à

l'étable, un cheval à l'écurie, rejettent dans leurs déjections de chaque jour :

	Cheval.	Vache.
Azote	155gr,5	212gr,0
Acide phosphorique	59 ,5	32 ,4
Potasse	53 ,8	133 ,7

ou par an :

	Cheval.	Vache.
Azote	56k,8	77k,4
Acide phosphorique	21 ,7	11 ,8
Potasse	19 ,6	49 ,8

Boussingault était arrivé, pour les produits rejetés pendant une année par les mêmes animaux, à :

	Cheval.			
	Poids total.	Azote.	Potasse.	Ac. phosph.
Urine	1.200k	17k.76	9k.63	»
Excréments	6.000	33 .00	»	18k.0
		50.76	9.63	18.0

	Vache.			
	Poids total.	Azote.	Potasse.	Ac. phosph.
Urine	3k.000	29k.07	39k.57	»
Excréments	10 .000	42 .00	»	10k.0
		71.07	39.57	10.0

Bien que les nombres soient bien loin d'être identiques, ils sont assez voisins pour nous permettre de calculer le poids de matières fertilisantes que produit une étable ou une écurie quand les animaux y séjournent.

Boussingault a trouvé, en outre, qu'un mouton de petite taille, consommant environ 1 kilogramme de foin, donne 2kil,200 de déjections mixtes, auxquelles il attribue la composition centésimale suivante :

	Déjections		
	solides.	liquides.	mixtes.
Eau	57.60	86.50	67.10
Azote	0.72	1.31	0.91
Acide phosphorique	0.44	0.01	0.16

MM. Muntz et Girard ont obtenu de leur côté, pour un lot de cinq moutons, une moyenne journalière de 2kil,050 d'excréments mixtes, présentant comme composition centésimale :

Eau	73.6
Azote	0.51
Acide phosphorique	0.34
Potasse	0.87

Les différences sont considérables ; si on prend la moyenne des deux déterminations, on trouverait pour un mouton, en une année :

Azote	5k,4
Acide phosphorique	1 ,9
Potasse	6 ,6

Enfin, d'après Boussingault, un porc émettrait par jour 4 kilogrammes d'excréments mixtes renfermant :

Azote	14gr,8
Acide phosphorique	11 ,2

et par an :

Azote	5k,40
Acide phosphorique	4 ,08

En résumé, on trouverait donc pour les matières fertilisantes émises par les animaux dans le courant d'une année :

Matières fertilisantes des déjections mixtes.

	Cheval.		Vache.		Mouton.	Porc.
Acide	56k,8	50k,76	77k,4	71k,07	5.4	5.40
Acide phosphorique	21 ,7	18 ,00	11 ,8	10 ,0	1.9	4.08
Potasse	19 ,6	9 ,63	49 ,8	39 ,57	6.6	»

Telles sont les matières qui arrivent au fumier ; on voit immédiatement que les cultivateurs peu soigneux qui ne dirigent pas vers le tas de fumier les urines rejetées par les animaux, qui les laissent écouler soit par insuffisance de litière, soit par suite d'une construction défectueuse des ruisseaux qui aboutissent à la fosse à purin, s'exposent à des pertes d'autant plus considérables que ce sont ces liquides mêmes qui apportent au fumier les substances nécessaires à sa fabrication.

Pour comprendre en quoi elle consiste, il importe de voir, en outre, quelle est la composition des litières.

§ 214. — Composition des litières.

Le rôle des litières est double : elles doivent s'imbiber des liquides émis par les animaux, et leur fournir un coucher doux ; elles doivent, en outre, apporter la vasculose, l'élément caractéristique du fumier, celui qui lui donne sa valeur spéciale comme engrais.

Il nous faut donc, non seulement déterminer la faculté absorbante pour les liquides des diverses matières employées comme litières, non seulement y doser les petites quantités d'azote, d'acide phosphorique et de potasse qu'elles apportent au fumier, mais, en outre, établir leur composition immédiate.

On emploie comme litière diverses matières. On donne la préférence aux pailles des céréales, non seulement parce qu'elles sont abondantes dans les exploitations rurales, mais aussi parce que leur structure tubulaire leur permet de s'imbiber plus facilement des liquides des étables. On verra, par le tableau suivant, que, cependant, quelques autres matières possèdent également la propriété de retenir une grande quantité de liquide.

NOMS DES MATIÈRES ABSORBANTES.	APRÈS 24 HEURES d'imbibition 100 kilogr. des matières ont retenu d'eau.	NOMBRE de kilogrammes de matières nécessaires pour remplacer comme litière absorbante 100 kilogr. de paille de blé.
	Kil.	Kil.
Paille de blé	220	»
— d'orge	285	77
— d'avoine	228	96
— de colza	200	110
Feuilles de chêne tombées	162	136
Bruyère	100	220
Tiges sèches de topinambour non broyées	210	105
Tiges sèches de topinambour broyées	275	80
Aiguilles de conifères	150 à 200	125
Tourbe	500 à 700	40
Sciure de bois. Pin	420	50
Sciure de bois. Peuplier	435	50
Tannée	400 à 500	48
Sable quartzeux	25	880
Marne	40	550
Terre végétale séchée à l'air	50	440

Toutes les matières végétales précédentes peuvent, à des degrés différents, servir à la confection du fumier; il n'en est plus ainsi du sable, de la marne ou de la terre; ces dernières substances s'imbibent, il est vrai, des déjections des animaux, empêchent leurs déperditions, quelquefois mieux que la paille; mais on ne produit pas, avec ces litières terreuses, la matière ulmique qui donne au fumier sa haute valeur fertilisante.

Examinons, maintenant, la composition immédiate de la paille

telle qu'elle peut être établie d'après les recherches récentes de M. Hébert (1); il a trouvé, pour la paille de blé :

Eau	10.40	
Matières azotées	2.42	(azote : 0gr,388)
Matières solubles dans l'éther (matières grasses et résidus chlorophylliens)	1.18	
Matières solubles dans l'eau (cendres déduites), sucres réducteurs, sucres non réducteurs, gommes et tannins.	3.37	
Cellulose	33.60	
Vasculose	24.00	
Gomme de paille (calculée en xylose)	19.71	
Cendres	6.34	
	101.02	

(En calculant la gomme de paille en xylose, on a augmenté son poids de l'eau fixée au moment de la saccharification; de là, le léger excès constaté pour la somme des éléments dosés.)

Telle est la composition de la paille employée comme litière; il est probable que les pailles des autres espèces présentent des compositions analogues à la précédente. M. Hébert a trouvé de la gomme de paille dans la paille d'avoine ; on y trouve également de la cellulose et de la vasculose.

Nous avons donné plus haut le mode d'analyse suivi pour déterminer les proportions de ces diverses matières; mais il est bon de rappeler, ici, que trois des matières qui constituent la paille, à savoir : les matières azotées, la gomme de paille et la vasculose, cette dernière après déshydratation, sont solubles dans les alcalis ; on sait, au reste, que c'est précisément en attaquant la paille sous pression par les alcalis caustiques qu'on en extrait toutes ces substances, de façon à isoler la cellulose employée dans les papeteries pour la fabrication du papier commun, dit : papier de paille.

Il est vraisemblable que toutes les litières végétales présentent des compositions analogues à celles de la paille; peut-être, cependant, la vasculose est-elle moins attaquable dans le bois que dans la paille; mais la cellulose et la gomme transformable en xylose s'y rencontrent également, et on conçoit, dès lors, que les réactions qui se produisent entre les liquides excrémentitiels et les principes immédiats des pailles s'établissent dans la sciure de bois servant de litière, comme dans la paille, peut-être cependant avec moins d'énergie.

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 358.

Je n'ai jamais eu occasion d'utiliser les fumiers de sciure de bois; je ne puis donc rien dire sur leur valeur comme engrais; j'ai entendu, cependant, des cultivateurs habiles se louer de leur emploi.

Je n'ai pas davantage employé des fumiers fabriqués avec la tourbe; cette matière paraît absorber très bien l'ammoniaque, contenir aussi de la vasculose; mais des études suivies doivent être entreprises avant de la préconiser; en effet, la tourbe formée par les débris végétaux résiste aux combustions lentes; or, les sols très riches en débris organiques nitrifient difficilement; on sait qu'on ne trouve de nitrates, ni dans les sols de prairie, ni dans les sols forestiers, et on peut craindre qu'en incorporant à une bonne terre, du fumier obtenu avec la tourbe, on ne lui communique la stérilité qui caractérise, en général, les sols tourbeux.

§ 215. — Fermentations du fumier.

Je prendrai comme exemple le tas de fumier de l'École de Grignon disposé sur une plate-forme et s'élevant lorsqu'il est terminé à une hauteur de $2^{m},50$ à 3 mètres.

Un tas de fumier semblable présente à un mètre du sol environ, un aspect particulier; de longues stalactites noires se fixent sur les pailles, et, par place, on voit ruisseler le liquide qui les forme, il tombe dans les ruisseaux qui entourent la plate-forme et retourne lentement à la fosse dont il provient; le ruissellement du purin à la partie inférieure du tas de fumier indique qu'à cette hauteur la masse est gorgée d'eau.

Composition de l'atmosphère confinée dans le fumier. — Si à l'aide d'une tige de fer on pratique des trous dans le fumier à diverses hauteurs pour y introduire un thermomètre, on reconnaît que les températures y sont très variables, elles s'élèvent à 65°, 68° et même 70° à la partie supérieure; au milieu, la température est de 35° seulement et de 25° à la base, dans la partie qui est gorgée d'eau.

Pour savoir à quelle cause attribuer ces différences dans l'élévation de température, on a introduit dans le tas de fumier, à diverses hauteurs, des tubes de verre, puis à l'aide d'une trompe à mercure, on a aspiré les gaz confinés dans le fumier, ils ont présenté la composition suivante :

Gaz pris à la partie supérieure.

Acide carbonique	21.6
Oxygène	0.0
Azote	78.4
Formène (gaz des marais)	0.0
	100.0

Ce gaz ne renfermait ni oxygène, ni gaz combustible.

Gaz pris au milieu du tas.

Acide carbonique	31.0
Oxygène	0.0
Formène	33.3 (1)
Azote	35.5
	100.0

Gaz pris au bas du tas.

Acide carbonique	37.1
Oxygène	0.0
Formène	58.0
Azote	4.9
	100.0

Gaz pris au bas du tas un autre jour.

Acide carbonique	22.7
Oxygène	0.0
Formène	77.3
Azote	0.0
	100.0

Fermentation aérobie. — Ces analyses (2) montrent clairement qu'à la partie supérieure du tas de fumier où la température est très élevée, l'air pénètre aisément, puisqu'on trouve dans le gaz confiné 78.4 d'azote, c'est-à-dire presque la proportion qui existe

(1) La présence du formène dans les gaz du fumier a été constatée pour la première fois par mon confrère à l'Académie, M. Reiset, dès 1868.

On reconnaît que le gaz est du formène pur quand la contraction observée dans l'eudiomètre est double, après le passage de l'étincelle, du volume de l'acide carbonique formé par la combustion, ce que montre l'équation suivante :

$$\underbrace{CH^4}_{2\text{ vol.}} + \underbrace{4O}_{4\text{ vol.}} = \underbrace{2H^2O}_{4\text{ vol.}} + \underbrace{CO^2}_{2\text{ vol.}}$$

$$\underbrace{\qquad\qquad}_{6\text{ vol.}} \qquad\qquad \underbrace{\qquad}_{\text{Contraction.}}$$

Le volume de l'acide carbonique est donné par la mesure du gaz avant et après le passage dans l'éprouvette à potasse (voyez p. 15).

(2) *Ann. agron.*, t. X. p. 395.

dans l'air atmosphérique ; il en faut déduire que l'élévation de température est due à une combustion alimentée par l'oxygène libre ; quand cet oxygène fait défaut, quand l'air ne pénètre plus, ainsi que cela arrive au bas du tas de fumier, où l'analyse des gaz ne décèle plus que des traces d'azote, la température est beaucoup plus basse.

M. U. Guyon (1) a montré l'influence du libre accès de l'air atmosphérique sur l'élévation de la température de la masse, par l'expérience suivante : du fumier fut tassé dans une grande caisse en bois d'un mètre cube, fermée de toutes parts, la température ne s'y éleva guère au delà de 15°, tandis qu'elle atteignit 72° dans une autre masse du même fumier, placée dans une caisse de même dimension mais construite en fil de fer, pour permettre à l'air de pénétrer.

Ces combustions sont déterminées par l'activité d'un ferment figuré ; quand, en effet, on chauffe jusqu'à 100° de la paille dans des dissolutions alcalines d'une concentration analogue à celle qui existe dans le fumier, puis qu'on fait traverser le liquide par un courant d'air, il n'entraîne aucune trace d'acide carbonique ; dans ces conditions la paille ne s'oxyde pas.

Si au contraire on introduit, dans des tubes de verre, de la paille mêlée à des dissolutions alcalines et qu'on se borne à chauffer ces tubes à 35° après les avoir soudés à la lampe, on reconnaît que le liquide est peuplé de bactéries, que tout l'oxygène a été absorbé et remplacé par de l'acide carbonique ; les bactéries que renferme la paille elle-même sont l'agent actif de la combustion, car en faisant pénétrer dans les tubes, du chloroforme, la paille ne donne plus que de très faibles quantités d'acide carbonique ; si au lieu de mettre en observations dans les tubes de la paille, on y place du fumier, la production de l'acide carbonique se manifeste en présence du chloroforme, elle est moins active, mais encore notable.

Les oxydations qui se produisent dans le tas de fumier sont donc dues, pour la plus grande part, à l'action d'un ferment figuré, dont l'énergie est paralysée par le chloroforme, et pour une part moindre, au jeu des affinités chimiques.

C'est ce qu'a constaté également M. Th. Schlœsing fils, qui après avoir stérilisé du fumier par l'action d'une température de 115°, a mis en comparaison des lots, dans lesquels ne s'exerçaient que de simples actions chimiques et d'autres qui avaient été ensemencés, après la stérilisation. Dans l'une de ces expériences rapportées à

(1) *Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 528.

1 kilogramme de fumier sec, du fumier de cheval a donné en vingt-quatre heures quand il a été stérilisé : $3^{gr},5$ d'acide carbonique et $63^{gr},5$ quand après stérilisation, il a été ensemencé de germes de ferments (1).

La grande élévation de température est donc due à une fermentation aérobie. Les bactéries qui la déterminent fonctionnent encore à 72°, mais quand M. Schlœsing fils a porté la température à 79°,5, leur action a disparu, les phénomènes chimiques seuls se sont produits, les lots ensemencés et les lots stérilisés ont donné des quantités d'acide carbonique également faibles.

La production du gaz des marais ou formène est due également à une fermentation, quand le fumier a été stérilisé, il ne donne plus de formène.

Il est intéressant de montrer dans les écoles d'agriculture, la production du formène dans le tas de fumier; rien n'est plus facile; à la hauteur de $1^{m},50$ environ à partir du bas de la masse, on fore un trou en enfonçant une tige de fer, on remplace ensuite cette tige par un tube de verre qu'on adapte à un grand flacon portant une tubulure inférieure reliée par un gros caoutchouc à un autre flacon semblable; les tubulures supérieures sont munies de bouchons en caoutchouc et de tubes à robinet.

Supposons que le flacon A en communication avec le fumier soit rempli d'eau, on la fait écouler dans le flacon inférieur, on aspire ainsi les gaz confinés dans le fumier; quand le flacon est à moitié vide de liquide, on ferme les robinets, on substitue au tube enfoncé dans le fumier un tube abducteur, puis on élève le flacon B, de façon que le niveau de l'eau y soit plus haut que dans A; cette eau pousse le gaz contenu dans A, on le recueille sous une cloche, on agite avec une dissolution de potasse, le gaz restant s'allume aisément et brûle avec une flamme bleuâtre.

La fermentation forménique peut également s'établir en flacons, maintenus à une température de 50° environ, et renfermant outre la paille, des dissolutions contenant pour 500 centimètres cubes 5 grammes de carbonate de potasse, 5 grammes de carbonate d'ammoniaque $0^{gr},5$ de phosphate d'ammoniaque, qu'on ensemence avec 10 centimètres cubes de purin. Il est bien à remarquer que le formène n'apparaît qu'autant que les liquides sont très nettement alcalins, si la masse devient acide, on recueille de l'hydrogène et il se forme de l'acide butyrique.

On peut pour ainsi dire à volonté avoir du même flacon de l'hydrogène ou du formène suivant la réaction que présente le liquide.

(1) *Comptes rendus*, t. CVIII, p. 529. *Ann. agron.*, t. XVIII, p. 5.

Le ferment forménique n'est pas habituellement très actif, les liquides qui le produisent sont peuplés de bactéries assez dodues, qui facilement donnent des spores et cessent leur travail; on réussit à les ranimer en les soumettant au contact de l'oxygène.

Quand cependant la fermentation est bien établie, que la température reste bien égale, on peut aisément obtenir en une journée d'un flacon renfermant 100 gr. de paille, un demi-litre de formène. Dans une expértence due à M. Schlœsing portant sur 124^{gr},4 de fumier frais, maintenus à 52°, on a obtenu au début 8^{cc},3 par heure. Ce volume s'est accru jusqu'à un maximum de 16^{cc},3 atteint le sixième jour, puis il a diminué lentement; il se réduisit à 4 cent. cubes au bout du premier mois; quand on a mis fin à l'expérience qui avait duré exactement deux mois; le volume de gaz dégagé par heure était encore de 2^{cc},5.

Origine des ferments du fumier. — Les ferments contenus dans la paille sont très fins, très petits, je ne leur ai jamais vu déterminer la décomposition de la cellulose avec formation de formène, mais les études sur ce point n'ont pas été assez prolongées pour que je puisse affirmer qu'ils n'en fournissent pas.

On trouve au contraire dans les excréments solides des animaux des ferments plus gros, dodus, brillants, allongés, et portant souvent des spores, on retrouve ces mêmes ferments dans le fumier, mais surtout dans le purin où ils semblent beaucoup plus actifs que dans le fumier en place; de telle sorte que les arrosages du fumier avec le purin ont certainement pour but, non seulement de maintenir dans la masse une humidité suffisante pour retenir le carbonate d'ammoniaque, mais aussi de ranimer la fermentation par l'apport de ferments plus actifs que ceux qui proviennent directement des excréments.

Quand on ensemence de la paille additionnée de carbonate de potasse et d'ammoniaque avec des excréments, la fermentation est longue à établir, elle ne présente qu'une activité médiocre, on réussit mieux en ensemençant avec du purin.

En comparant les gaz contenus dans les intestins des herbivores à ceux qu'on obtient dans le fumier, on trouve que si les intestins renferment souvent de l'hydrogène, qu'on ne rencontre jamais dans le fumier normal toujours très alcalin, il suffit de ne pas ajouter d'alcalis dans les flacons en expérience pour voir se produire une fermentation hydrique avec apparition d'une réaction acide très prononcée; en outre, les intestins renferment très souvent du gaz

des marais, de telle sorte que la similitude des produits gazeux, la ressemblance de l'aspect des ferments, conduisent à la conclusion que les ferments du fumier proviennent de l'intestin des herbivores.

§ 216. — Réactions qui se produisent dans le tas de fumier.

Matières détruites pendant les fermentations. — Nous venons de voir que le fumier est le siège de deux fermentations différentes, l'une aérobie qui se manifeste à la partie supérieure du tas, et qui donne naissance seulement à de l'acide carbonique, elle est accompagnée d'un dégagement de chaleur considérable; l'autre est anaérobie, elle apparaît à la partie inférieure de la masse, elle ne donne plus qu'un dégagement de chaleur beaucoup moindre, elle se manifeste par le dégagement simultané de l'acide carbonique et du formène ou gaz des marais.

Ces deux fermentations portent sur des principes différents de la paille, nous avons vu que celle-ci renferme une très petite quantité de matières sucrées solubles dans l'eau et une quantité beaucoup plus considérable de gomme de paille facile à transformer en sucre réducteur sous l'influence des acides; or si on examine la paille qui se trouve dans le fumier consommé et qui a subi l'action des diverses fermentations, on reconnaît en général que l'action des acides n'y détermine plus la production des sucres réducteurs ou qu'au moins, leur proportion a beaucoup diminué, les deux matières qui disparaissent pendant la fermentation aérobie sont donc les matières sucrées et la gomme de paille; ces substances ne paraissent pas être altérées par la fermentation anaérobie, car lorsqu'on fait fermenter en vase clos des glycoses, du sucre ou de l'amidon, on obtient de l'hydrogène et très rarement des traces de gaz des marais, or, les gaz extraits du fumier en place, ne donnent comme gaz combustible que du gaz des marais pur, sans trace d'hydrogène ; ce fait paraît général, il avait été constaté par M. Reiset et je l'ai retrouvé moi-même sans aucune exception.

La matière qui est attaquée par la fermentation anaérobie est la cellulose, c'est ce qu'on montre en mettant en fermentation de la filasse de lin, ou du papier, avec des carbonates de potasse et d'ammoniaque et un peu de phosphate d'ammoniaque et en ensemençant avec quelques gouttes d'un liquide provenant du lavage du fumier, en recueillant les gaz sur le mercure, on obtient des volumes égaux de formène et d'acide carbonique, on voit en effet que de la cellulose

fixant deux équivalents d'eau se dédouble exactement en volumes égaux de formène et d'acide carbonique :

$$C^6H^{10}O^5 + H^2O = \underbrace{3CO^2}_{6\text{ vol.}} + \underbrace{3CH^4}_{6\text{ vol.}}.$$

Dans une fermentation continuée pendant longtemps à 52° M. Schlœsing (1) a obtenu du fumier frais une grande quantité de gaz ; 124 grammes de fumier ont fourni :

	Volume.	Poids.
Acide carbonique.....	4217cc,5	8gr,296
Formène.....	4577 ,4	3 ,276

Le volume du formène a été un peu supérieur à celui de l'acide carbonique.

Nous avons vu que la paille est essentiellement formée d'une petite quantité de matières azotées, d'hydrates de carbone très attaquables, de gomme de paille, de cellulose et de vasculose.

Pendant la fabrication du fumier ces principes sont donc attaqués de la façon suivante :

Pendant la fermentation aérobie qui se produit à la partie supérieure de la masse, là où arrive l'oxygène, les hydrates de carbone solubles, les sucres sont brûlés ; il en est de même de la plus grande partie de la gomme de paille ; il arrive très souvent qu'en examinant les débris de paille très altérés du fumier, les acides n'y déterminent plus la formation de sucre réducteur, ce qui indique que la gomme de paille est détruite.

La cellulose se décompose partiellement pendant la fermentation anaérobie en donnant ainsi qu'il vient d'être dit : du formène et de l'acide carbonique.

La vasculose enfin se déshydrate, devient partiellement soluble dans les carbonates alcalins qui dissolvent en même temps les matières azotées, c'est ce mélange très intime qui coule sur les parois du tas de fumier et y forme ces stalactites noires qui se figent sur les parois et indiquent que la fabrication marche régulièrement, la coloration de ce produit s'accentue quand il s'oxyde pendant son exposition à l'air.

Préparation de la matière noire du fumier. — Il est facile de se procurer cette matière brune en accumulant du fumier fait

(1) *Comptes rendus*, t. CIX, p. 835. — *Ann. agron.*, t. XVIII, p. 5.

dans un grand pot à fleur, ou une tourie renversée dont on a détaché le fond, on y dirige un courant de vapeur d'eau, qui se condense dans la masse, on recueille un liquide noir, qui saturé par un acide donne une violente effervescence, puis laisse déposer une matière brune, colloïdale ressemblant à de l'oxyde de fer, cette matière tout à fait semblable à celle qu'on obtient en attaquant la paille par les alcalis, renferme de 3 à 6 centièmes d'azote, c'est celle qui avait été désignée par Thenard sous le nom d'acide fumique. C'est cette matière dissoute, et la vasculose non encore complètement transformée qui forment la partie essentielle du fumier ; c'est pour assurer sa formation qu'on maintient le fumier en tas et qu'on y favorise les fermentations qui détruisant, les autres principes immédiats de la paille, amènent la mise en liberté de la vasculose ; cette matière essentiellement colloïdale quand elle est déshydratée englobe la matière azotée dont il nous reste à chercher l'origine.

§ 217. — Origine des matières azotées du fumier.

Les matières organiques azotées du fumier proviennent :

1° Des albuminoïdes de la paille ;

2° Des matières contenues dans les déjections solides des animaux ;

3° De la transformation, dans le fumier même, de l'ammoniaque en matière organique.

Albuminoïdes de la paille. — On sait que les pailles renferment de 2 à 3 centièmes de matières azotées, celles-ci sont solubles dans les carbonates alcalins, et quand on précipite par un acide les dissolutions alcalines, on obtient ainsi qu'il a été dit une matière brune colloïdale formée de vasculose et d'albuminoïdes dont la séparation n'a pas encore été réalisée.

Sur la plate-forme la paille est soumise à la température élevée due à la fermentation aérobie, elle y arrive imprégnée des carbonates alcalins des urines, elle leur cède donc à la fois la vasculose et les albuminoïdes qu'elle renferme.

Matières azotées des excréments solides. — Les excréments solides cèdent une partie de leur azote aux dissolutions alcalines ; en attaquant de la bouse de vache par une dissolution alcaline on lui a enlevé sur 1,75 d'azote qu'elle renfermait 0,45 ; sur 2,8 d'azote, les crottes de mouton ont cédé 0,78.

Ainsi la matière noire soluble renferme, outre les albuminoïdes

des pailles, des matières azotées provenant des déjections solides; mais une autre portion de ces matières azotées reste insoluble.

Transformation de l'ammoniaque en matière organique azotée. — P. Thenard avait cru que l'ammoniaque se combinait directement aux hydrates de carbone de la paille pour constituer des matières azotées; il avait réalisé l'union de l'ammoniaque au glycose, et il avait formé un produit qu'il avait désigné sous le nom de *glycose azoté* et qui lui paraissait être le point de départ de toutes les substances azotées du fumier.

Si intéressante que soit cette expérience, elle ne me paraît avoir qu'une attache très lointaine avec la fabrication du fumier ; en effet, bien que j'aie essayé avec persévérance d'unir l'ammoniaque à quelques-uns des principes de la paille, je n'ai jamais pu y réussir (1). Il en est tout autrement, quand on met en fermentation de la paille avec des liquides du fumier et des carbonates et phosphates alcalins, on constate souvent, dans ce cas, qu'une partie de l'ammoniaque passe à l'état de matière organique azotée; le fait a été constaté par M. Joulie (2) et par moi-même, M. Schlœsing au contraire ne l'a pas observé (3).

Quand cette transformation se produit, elle est due à l'action vitale des ferments ; ils utilisent l'ammoniaque à la formation de leurs tissus; l'histoire des fermentations fournit de nombreux exemples de transformations analogues. M. Joulie a trouvé que dans une fermentation très aérée, 24,82 p. 100 de l'azote ammoniacal primitif avait été engagé en combinaison organique ; dans une autre expérience : 44,54 p. 100 avait subi cette transformation. Dans une des expériences que j'ai exécutées sur ce sujet, j'ai trouvé que 16,4 p. 100 de l'azote ammoniacal, introduit dans une fermentation aérobie, étaient passés à l'état d'azote organique; dans une fermentation anaérobie, j'ai trouvé que sur 100 d'azote ammoniacal, 27,9 sont devenus de l'azote organique.

Ainsi qu'il a été dit, cette transformation ne se produit pas toujours; M. Schlœsing a observé au contraire une transformation d'azote organique en azote ammoniacal dans la fermentation forménique très active que nous avons rappelé plus haut.

Si pendant la fabrication du fumier l'ammoniaque passe souvent à l'état de matière organique, souvent aussi la fabrication du fumier

(1) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 126.
(2) *Ann. agron.*, t. X, p. 290.
(3) *Comptes rendus*, t. CIX, p. 835. — *Ann. agron.*, t. XVIII, p. 5.

est accompagnée de pertes d'azote, à l'état libre et à l'état d'ammoniaque.

§ 218. — Pertes d'azote.

A l'état libre. — Elles peuvent être constatées par deux méthodes différentes ; quand on procède au dosage de l'azote combiné dans les matières mises en expériences et de nouveau à ce dosage à la fin de l'observation et qu'on a disposé les appareils de façon à recueillir au passage des gaz, l'ammoniaque entraînée, on est certain que l'azote non retrouvé a été perdu à l'état gazeux.

On peut en outre rechercher directement dans les gaz dégagés, l'azote gazeux.

J'ai employé la première méthode dans les recherches que j'ai exécutées à l'École de Grignon (1) et j'ai constaté une perte sensible, l'analyse eudiométrique montrait également de l'azote libre.

Cette perte a été constatée par la seconde méthode dans les expériences que M. Reiset a exécutées autrefois dans l'appareil classique qu'il avait employé avec Regnault pour étudier la respiration (2). En revanche M. Schlœsing, qui, il est vrai, opérait à l'abri de l'oxygène, n'a constaté aucune trace d'azote libre (3).

Les circonstances, dans lesquelles cette perte se manifeste ou au contraire ne se produit pas, ne sont pas encore nettement définies, je serais porté à croire, en m'appuyant sur les observations de M. Reiset, de MM. Lawes et Gilbert, de M. Schlœsing, de M. Joulie et sur les miennes, qu'elles ont lieu surtout pendant les fermentations aérobies, pendant ces combustions énergiques qui portent la température du fumier au delà de 60°.

Pertes d'ammoniaque. — Ce sont surtout ces pertes qui ont préoccupé les agronomes et les praticiens, il est certain qu'elles peuvent être considérables quand le fumier est sec ; elles sont minimes quand il est régulièrement arrosé. Notre fumier de Grignon préparé avec soin ne présente aucune odeur forte et même quand il est étalé dans les champs, on ne sent l'odeur de l'ammoniaque que très rarement et seulement par les vents secs.

Lorsque au contraire les étables ou les bergeries sont mal tenues, que la litière y est parcimonieusement distribuée ou que le sol n'est pas disposé de telle sorte que les urines puissent aisément gagner

(1) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 127.
(2) *Comptes rendus*, t. CVIII, p. 779.
(3) *Comptes rendus*, t. CIX, p. 835. *Ann. agr.*, t. XVIII, p. 5.

la fosse à purin, l'ammoniaque devient assez abondante pour provoquer le larmoiement. MM. Muntz et A. Girard ont constaté dans l'air d'une bergerie de 7 à 8 milligrammes par mètre cube.

Préoccupés de ces pertes, les agronomes ont essayé de les restreindre, soit dans les étables et bergeries, soit dans le fumier en tas. On a préconisé dans le premier cas les litières de terre qui donnent, en effet, un coucher agréable aux animaux, mais il est manifeste que si dans ce cas on diminue la perte d'azote des excrétions, on renonce à la fabrication du fumier qui, comme nous le verrons plus loin, exerce dans certains sols une influence décisive sur les rendements.

D'autres écrivains et très fréquemment, ont proposé d'introduire dans le fumier, du sulfate de fer, du plâtre, des phosphates, dans l'espoir de décomposer le carbonate d'ammoniaque volatil, de le transformer en sulfate fixe et par conséquent de le soustraire aux chances de perte que court l'ammoniaque quand elle est unie à l'acide carbonique.

Si dans le laboratoire il est aisé de faire réagir du sulfate de chaux sur du carbonate d'ammoniaque de façon à produire du sulfate d'ammoniaque qui n'est pas volatil, et par conséquent ne peut pas s'échapper, même d'un fumier sec, il en est tout autrement dans la masse du fumier; si au moment du mélange les sulfates réagissent sur les carbonates alcalins pour les transformer, les sulfates alcalins ainsi formés, ne persistent pas longtemps, ils sont aisément réduits à l'état de sulfures, puis ramenés bientôt à l'état de carbonates : le baron P. Thenard m'a raconté souvent qu'ayant essayé d'incorporer du plâtre à un tas de fumier, il y avait constaté, au moment de l'épandage, de nombreux cristaux de soufre.

Pour que le soufre ait été mis en liberté, il faut que les sulfates aient perdu leur oxygène sous l'influence de ferments réducteurs et soient devenus des sulfures, que ceux-ci aient été décomposés par l'acide carbonique et qu'enfin le gaz sulfhydrique arrivant dans les parties du tas où pénètre l'oxygène y ait été décomposé, son hydrogène formant de l'eau, tandis que le soufre se déposait.

Ainsi la transformation qu'opèrent les sulfates n'est que transitoire, mais si, pendant le temps que le carbonate d'ammoniaque a été métamorphosé en sulfate, il cesse d'être volatil et par suite susceptible de se répandre dans l'atmosphère, pendant ce temps aussi, s'arrêtent toutes les réactions nécessaires à la fabrication du fumier.

Ces réactions, ainsi que nous l'avons dit plusieurs fois, ne se

produisent que dans un milieu alcalin ; or le sulfate de chaux transforme non seulement le carbonate d'ammoniaque, mais aussi le carbonate de potasse, et le fumier au lieu d'être le siège d'une fermentation énergique n'est plus qu'une masse inerte formée par un mélange de paille et de sulfates neutres sans action sur elle.

Pour éviter des pertes minimes, qu'on restreint considérablement par des arrosages, on renonce à la fabrication même qu'on a entreprise. Ces additions sont, au reste, d'autant plus fâcheuses qu'elles ne diminuent que très peu, et même souvent ne diminuent pas, les pertes d'azote.

Dans une expérience où les matières prises en faibles quantités ont été soumises à une oxydation beaucoup plus énergique que celle qui se manifeste dans le tas de fumier. M. Joulie (1) a constaté les modifications suivantes dans l'azote introduit :

	Azote ammoniacal pour 100 de la quantité introduite.		
	Disparu.	Transformé.	Définitivement perdu.
Sans addition	49.96	24.82	25.14
Phosphate	49.47	20.09	29.38
— et plâtre	71.43	17.09	54.34
— et carbonate de chaux	61.40	17.83	43.57
Carbonate de chaux	70.41	13.84	56.57
Plâtre	67.34	19.98	47.36
Sans addition	85.30	44.54	40.76

On conçoit très bien que les nombres inscrits dans la première colonne indiquent la diminution d'azote ammoniacal constatée pendant la durée de l'expérience ; cet azote ammoniacal s'est transformé partiellement en azote organique ; la proportion d'azote ainsi engagée dans une nouvelle combinaison inscrite dans la seconde colonne, est bien loin d'égaler la première ; les différences qui forment la troisième colonne sont, comme on le voit, considérables ; elles ne sont nullement diminuées par les additions de phosphates, de plâtre ou de carbonate de chaux ; ces additions sont inutiles et même funestes.

Dans une des expériences de M. Joulie, c'est le fumier sans addition qui a le moins perdu, et si dans le second cas la déperdition du fumier sans addition est énorme, elle est moindre que celles qu'on a constatées dans le fumier additionné de plâtre seul, de plâtre et phosphate, etc. L'expérience de M. Joulie a eu lieu dans une

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 289.

atmosphère très oxygénée et si elle est très instructive pour montrer combien sont fortes les déperditions, quand le fumier est abandonné à l'air libre et qu'il n'est pas régulièrement tassé, elle n'est pas de nature à indiquer ce qui se produit dans la masse soustraite partiellement à l'action oxydante de l'air. Dans ce cas, les déperditions diminuent jusqu'à devenir nulles, quand la fermentation est surtout anaérobie, cas que nous avons signalé plus haut dans une expérience de M. Schlœsing.

§ 219. — Pertes d'azote des fourrages consommés par les animaux.

La plupart des praticiens reconnaissent un tel avantage à la fabrication du fumier, ils en obtiennent quand ils l'associent aux engrais salins, des rendements tellement supérieurs à ceux que leur fournissent ces engrais salins employés seuls, qu'ils y renonceraient difficilement, même quand la réussite des spéculations animales ne serait pas assurée.

On concoit cependant, que si la pratique des cultures dérobées pour engrais se généralisait, il pourrait être intéressant de savoir s'il vaut mieux enfouir une récolte verte que de la faire consommer; cette discussion ne peut aboutir qu'autant qu'on sait à quelles pertes est exposé l'azote contenu dans le fourrage consommé.

Pour les apprécier, MM. Muntz et Girard ont employé la méthode suivante : ils ont analysé avec soin les rations consommées par des animaux, qui ont été pesés au commencement et à la fin de l'expérience ; on a analysé d'autre part les litières employées et enfin le fumier produit; il est manifeste que si l'opération n'entraînait aucune perte, l'azote des aliments, ajouté à celui des litières devrait se retrouver dans l'augmentation de poids des animaux et dans le fumier; or il est aisé de déterminer la quantité d'azote que renferme le fumier, on calcule d'autre part, celle qui a été fixée par l'animal d'après l'augmentation de son poids pendant la durée de l'expérience, on a donc tous les éléments nécessaires pour savoir quelle déperdition d'azote entraîne la consommation des fourrages par les animaux.

Dans une expérience de six mois de durée, portant sur un lot de moutons qui recevait une alimentation variée, composée de luzerne sèche ou fraîche suivant la saison, de betteraves, de grains, de farines ou tourteaux, et séjournait sur une litière de paille, on a trouvé pour le mouvement de l'azote les nombres suivants :

	kilog.	
Azote donné dans le fourrage.....	94.867	
— la litière.....	3.075	
	97.942	97.942
Azote fixé à l'état de viande.....	8.185	
— — de laine	2.720	
— retrouvé dans le fumier.....	35.425	
	46.330	46.330
Différence, azote non retrouvé.....		51.612

La perte est donc énorme, la quantité d'azote non retrouvée surpassant celle qui a été utilisée par les animaux ou qui s'est fixée dans le fumier.

Dans d'autres expériences exécutées par les mêmes auteurs, les pertes ont été de 54 et de 48,86 p. 100 de l'azote introduit; ces pertes portent seulement sur l'azote : en soumettant aux mêmes investigations la potasse et l'acide phosphorique, on les retrouve intégralement dans le fumier.

La consommation des fourrages est donc accompagnée d'une perte notable, elle s'élève pour les moutons à près de la moitié de l'azote contenu dans les aliments et pour les vaches au quart (1). Les animaux n'éliminant pendant la respiration que de faibles quantités d'azote provenant de la destruction des matières azotées, on peut supposer que les pertes se produisent à l'étable ou dans les bergeries ; dans cette expérience, elle a été très considérable et cependant inférieure à celle qui doit se produire dans la pratique, quand le sol des locaux destinés aux animaux n'est pas étanche, quand la distribution des litières n'est pas copieuse.

Il est possible au reste que pendant leur décomposition dans le sol les fourrages émettent aussi de l'azote libre, ainsi que nous l'avons dit plus haut (page 594), de telle sorte que le calcul des avantages qu'on rencontrerait à réduire au minimum les animaux de la ferme si leur entretien est onéreux et s'ils sont considérés seulement comme machines à fumier, est assez compliqué, faute de données précises sur les pertes d'azote des engrais verts enfouis, et sur les rendements qu'on en peut espérer ; nous aurons occasion de revenir sur ce sujet, dans le chapitre : Valeur des engrais.

Il faut bien reconnaître au reste que l'excessive préoccupation que nous avions jadis, de restreindre les pertes d'azote, était due

(1) Muntz et Girard, *Les engrais*, t. I, p. 253.

à l'ignorance où nous étions de la fixation de l'azote gazeux, soit par les légumineuses, soit par le sol lui-même; nous savons aujourd'hui que le sol récupère dans certaines circonstances l'azote perdu, et par suite tout en faisant les plus grands efforts pour restreindre les gaspillages des matières azotées nous ne devons plus subordonner toutes nos opérations, à cette idée de la restitution au sol de l'azote, puisque nous savons que cette restitution se fait d'une façon occulte par le seul jeu des forces naturelles judicieusement dirigées.

§ 220. — Composition immédiate du fumier de ferme.

L'analyse immédiate du fumier est surtout qualitative, les nombres fournis par l'analyse quantitative d'un échantillon étant très différents de ceux que donne un autre échantillon pris en un autre point de la masse.

On procède à cette analyse en lavant le fumier sur un tamis à mailles assez larges. Il retient les fragments de pailles grossiers, et laisse passer des débris très menus et une matière soluble; on jette le liquide sur une toile qui retient les matières insolubles et laisse passer un liquide très coloré, on sépare ainsi le fumier en trois lots : 1° pailles grossières, 2° menues pailles et matières insolubles, 3° matières solubles.

Pailles grossières. — Ces pailles sont celles qui ont partiellement échappé aux réactions qui prennent naissance dans le tas de fumier. Elles sont un peu plus riches en matière azotée, un peu plus pauvres en cendres que la paille normale; on y a dosé 0,69 d'azote et 3,4 de cendres; les pailles ont été dans le fumier même appauvries des substances solubles, minérales ou organiques, qu'elles renfermaient, de là, la diminution du taux des cendres, l'augmentation au contraire de la matière azotée insoluble; augmentation qui doit être attribuée plutôt à la disparition de quelques-uns des éléments de la paille, élevant la proportion des matières azotées, qu'à une addition d'azote extérieur.

Menues pailles. — Ces menues pailles restées sur la toile sont un mélange très complexe formé :

1° D'un résidu de l'attaque de la paille par les carbonates alcalins et les ferments;

2° De débris de végétaux ayant circulé dans le tube intestinal des animaux;

3° De matières minérales : sable et terre, provenant des balayages des écuries, vacheries, etc.

C'est ce qu'indique tout d'abord un examen au microscope, on trouve des débris de fibres végétales assez menus pour qu'on ne puisse pas douter qu'ils ont été triturés par les animaux ; quand on soumet à l'action des réactifs ces mêmes pailles, on constate qu'elles ne renferment plus, ainsi qu'il a été dit déjà, les hydrates de carbone susceptibles de donner des sucres réducteurs sous l'influence des acides ; ces hydrates de carbone sont détruits pendant la fermentation aérobie qui prend naissance à la partie supérieure du tas de fumier. La destruction de ces hydrates de carbone dans les parties supérieures du tas se déduit d'une autre considération : quand on met en fermentation anaérobie des pailles avec les liquides du fumier, on obtient presque toujours au début : de l'hydrogène, or dans le fumier en place, on ne constate jamais que du formène pur, sans trace d'hydrogène, ce qui fait supposer que les sucres de la paille ont disparu pendant la fermentation aérobie.

On constate également dans ces menues pailles moins de cellulose et de gomme de paille que dans la paille normale, moins de vasculose attaquable, mais au contraire plus de matière résistant à l'action des carbonates alcalins à l'ébullition, cette matière qui cède cependant à l'action des alcalis caustiques agissant sous pression est une variété de vasculose peu attaquable, analogue à celle qui se trouve dans le bois.

On trouve dans les menues pailles une proportion assez notable de matières azotées (la matière sèche donne parfois en effet, 2 p. 100 d'azote) qui proviennent sans doute de la partie des excréments solides des animaux qui ne se dissout pas dans les liquides alcalins ; on a trouvé en effet que 100 grammes de bouse de vache sèche, renfermant 17,8 de cendres et 1,75 d'azote, laissaient après attaque par les carbonates alcalins un résidu de 60,4 renfermant dans 100 parties 19,7 de cendres et 0,78 d'azote. 100 grammes de crottins de mouton desséchés renferment 17,9 de cendres et 2,18 d'azote : attaqués par le carbonate de potasse, ils laissent un résidu renfermant 21,3 p. 100 de cendres et 0,85 d'azote.

En définitive les résidus insolubles précédents diffèrent des pailles, par la perte :

1° Des hydrates de carbone facilement attaquables, détruits par fermentation aérobie ;

2° De la vasculose dissoute par les carbonates alcalines;

3° De la cellulose détruite par fermentation anaérobie avec production de formène et d'acide carbonique.

Et, au contraire par le gain :

1° De matières azotées provenant surtout des déjections solides des animaux, dont une partie est peu soluble dans les liquides alcalins;

2° De matières minérales provenant des balayures des étables, etc.

Ces résidus présentent enfin un excès de vasculose inattaquable et de cendres dû à la disparition des autres principes constitutifs de la paille.

Matière soluble. — La matière noire soluble est essentiellement formée de vasculose dissoute dans les carbonates alcalins et de matières azotées. Évaporée à sec, elle se présente sous forme d'une masse noire, brillante, cassante, ayant l'aspect de la houille.

Cette substance brute renferme une très grande quantité de cendres; les chiffres trouvés oscillent autour de 40 p. 100; ces cendres sont riches en sel marin, en potasse, elles renferment souvent des traces de manganèse. Dans un échantillon renfermant 40 p. 100 de cendres on a trouvé 3,7 d'azote; la matière organique en contenait donc 6,1.

En traitant la dissolution noire par les acides, on obtient une très vive effervescence d'acide carbonique, et la vasculose se précipite partiellement, entraînant avec elle la matière azotée; celle-ci est plus soluble dans l'acide chlorhydrique que la vasculose elle-même, et si on redissout dans les alcalis, puis qu'on précipite de nouveau, le produit insoluble est moins riche en azote que le premier précipité (1).

Le précipité fourni par les acides agissant sur la partie soluble du fumier a été désigné par Thenard, ainsi qu'il a été dit, sous le nom d'*acide fumique;* je pense que ce nom doit disparaître; il ne s'applique pas à une matière définie; mais bien au précipité complexe obtenu par la décomposition de la dissolution, dans les liquides alcalins, d'un mélange de vasculose et de matières azotées mélange dans lequel on peut à volonté faire varier les proportions d'azote; les précipitations de la matière par les sels de chaux, d'alumine ou de fer sont dues : non à une combinaison de cette matière avec les

(1) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 116.

bases, mais à la décomposition du dissolvant, la précipitation des bases entraînant celle de la matière dissoute ; il est manifeste, par exemple, que l'addition d'un sel d'alumine déterminera la décomposition des carbonates alcalins avec effervescence d'acide carbonique, la vasculose et la matière azotée insoluble dans les liqueurs neutres se précipiteront en même temps que l'alumine, ces deux matières colloïdales s'entraîneront mutuellement.

La matière noire soluble peut être représentée approximativement par la composition suivante :

Matières azotées.....	24
Vasculose.....	36
Cendres.....	40

Cette matière noire dissoute dans l'eau, laisse des cendres dont la composition est curieuse, on y trouve, ainsi que l'a observé depuis longtemps M. Grandeau, dans la matière ulmique du sol : de l'acide phosphorique, de la chaux et de l'oxyde de fer. On sait que ces substances ne restent pas dissoutes en présence les unes des autres dans une liqueur neutre ou alcaline ne renfermant pas de matières organiques ; il faut donc conclure de leur solubilité dans le purin, qu'elles y sont combinées à la matière organique, et c'est là certainement une des utilités les plus manifestes du fumier. Il est vraisemblable que la matière noire retenue par les colloïdes de la terre est ensuite attaquée par les sucs acides des racines qui y trouvent des aliments à un état sans doute très favorables à l'assimilation.

Purin. — Le purin présente la composition de la dissolution précédente ; bien qu'il soit souvent très coloré, la quantité de substance dissoute qu'il renferme est faible ; j'ai trouvé dans celui de Grignon, de 4 à 2 p. 100 de matière sèche, il présente une réaction très alcaline due à la présence du carbonate d'ammoniaque et à celle du carbonate de potasse, quand on le traite par les acides, il donne une effervescence très vive et laisse précipiter le mélange de vasculose et de matière azotée décrit plus haut.

§ 221. — Composition élémentaire du fumier et du purin.

Un grand nombre d'auteurs s'est appliqué à déterminer la composition élémentaire du fumier et du purin, nous transcrirons seulement ici les nombres se rapportant aux matières fertilisantes.

Composition élémentaire de divers fumiers.

	Eau.	Azote.	Ac. phosph.	Potasse.
Fumier frais	75.00	0.39	0.18	0.45
— consommé	75.00	0.50	0.26	0.53
— très consommé	79.00	0.58	0.30	0.50
— de Rothamsted	76.00	0.64	0.23	0.32
— de Tromblaine	73.00	0.36	0.82	»
— de fermes suisses	78.50	0.38	0.22	»

Composition élémentaire de divers purins.

Eau	991.100	992.492	991.266
Matières organiques	1.634	2.216	3.411
— minérales	5.260	3.747	5.161
Ammoniaque	0.560	1.545	0.162
Azote organique	0.051	0.068	0.128
— total	0.511	1.140	0.262
Acide phosphorique	0.104	0.038	0.137
Potasse	2.660	1.980	2.210

Le fumier est, comme on le voit, très chargé d'humidité; il en renferme habituellement les trois quarts de son poids ; les réactions que nous avons décrites plus haut ne se produisent que dans un milieu humide ; si le fumier se sèche les fermentations s'arrêtent.

L'azote est contenu dans le fumier en partie à l'état de matière organique, en partie à l'état d'ammoniaque; j'ai trouvé pour 100 parties de fumier normal de Grignon :

	Échantillon n° 1.	Échantillon n° 2.
Azote à l'état de carbonate d'ammoniaque	0.045	0.030
— à l'état de sel ammoniacal fixe	0.015	0.010
— à l'état organique	0.660	0.370
Total	0.720	0.410

L'échantillon n° 1 reproduit exactement le dosage total d'azote donné par Boussingault pour la teneur du fumier de Grignon, il y avait trouvé 0^{gr},72 d'azote p. 100 ; cet accord est fortuit puisque ce même fumier m'a donné à un autre moment: 0^{gr},410 d'azote total pour 100.

Les nombres inscrits dans le tableau précédent s'appliquent à des fumiers mixtes tels qu'on les obtient dans les fermes, où arrivent à la plate-forme les litières des écuries, des vacheries, des bergeries et des porcheries, il peut être intéressant cependant de connaître la composition des fumiers provenant des diverses parties de la ferme et nous transcrivons ici les analyses exécutées par Wolf.

	Composition centésimale.					
	Eau.	Azote.	Ac. phosph.	Potasse.	Chaux.	Magnésie.
Fumier de cheval..	71.3	0.58	0.28	0.53	0.21	0.14
— de bêtes à cornes..	77.5	0.34	0.16	0.40	0.31	0.11
— de mouton.	64.6	0.83	0.23	0.67	0.33	0.18
— de porc ...	72.4	0.45	0.19	0.60	0.08	0.09

On voit que le fumier de cheval et celui de mouton sont plus chargés d'azote que celui de porc et surtout que celui des bêtes à cornes, ils renferment également plus de potasse, c'est-à-dire que les deux éléments qui agissent avec le plus d'énergie sur les pailles y sont plus abondants, il est possible en outre que les ferments qui proviennent de ces animaux soient plus actifs : quoi qu'il en soit ces fumiers fermentent activement et sont désignés souvent sous le nom de fumiers chauds par opposition à ceux de vaches.

On sait que les maraîchers qui emploient le fumier, surtout comme source de chaleur pour hâter le développement des plantes placées sur *couches*, n'emploient guère que le fumier de cheval qu'ils choisissent le moins pailleux possible. M. Dybowski (1) a donné les courbes des températures observées dans des couches préparées avec divers fumiers, elles montrent très clairement que les fermentations du fumier de cheval et de mouton sont plus rapides et plus actives que celles du fumier d'étable.

En résumé, une tonne de fumier renferme environ de 4 à 5 kilos d'azote, 2 à 3 kilos d'acide phosphorique, 4 à 5 kilos de potasse ; 1 mètre cube de purin ne contient guère que 500 grammes d'azote, très peu d'acide phosphorique mais plus de 2 kilos de potasse ; si on se rappelle les réactions que nous avons décrites plus haut, si on reconnaît combien il est important d'attaquer les litières par les dissolutions alcalines, on sera convaincu qu'il est bien plus avantageux d'incorporer le purin au fumier par des arrosages fréquents, que de le répandre séparément sur les terres.

Présence des sulfures dans le tas de fumier. — Quand on arrose le fumier à l'aide du purin, en est frappé par l'odeur forte de sulfhydrate d'ammoniaque qui se répand pendant l'opération.

L'hydrogène sulfuré qui donne naissance au sulfhydrate d'ammoniaque provient en grande partie de la réduction des sulfates amenés par les eaux employées à l'alimentation des animaux. Ces sulfates sont réduits sans doute par l'activité de ferments spéciaux,

(1) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 269.

prenant à ces sels leur oxygène et les amenant à l'état de sulfures. La présence du sulfhydrate d'ammoniaque est facile à expliquer, les sulfates terreux qui arrivent au tas de fumier réagissent sur le carbonate d'ammoniaque, il se fait du sulfate d'ammoniaque qui est ensuite amené à l'état de sulfure par les réactions réductrices qui dominent dans le tas de fumier.

§ 222. — Pertes que subit le fumier exposé a l'air.

Nous avons vu que l'azote contenu dans les aliments est bien loin de se retrouver intégralement dans les tissus des animaux et dans le fumier, que par suite il y a perte d'azote à l'étable ou à la bergerie; il y a perte encore pendant la fabrication du fumier; enfin nous allons voir que le fumier fabriqué, perd encore à l'air une fraction notable de son poids.

M. Vœlcker a cherché à savoir ce qui arrivait à du fumier frais abandonné dans diverses conditions, et il est arrivé aux résultats suivants :

	Poids du fumier.			Azote dans le fumier.		
	A l'air libre.	Sous un hangar.	Étalé.	A l'air libre.	Sous un hangar.	Étalé.
A l'origine.....	1000	1000	1000	6.43	6.43	6.43
Après 6 mois..	704	495	865	6.39	5.91	4.66
— 9 — ..	703	398	612	4.19	5.02	2.47
— 12 — ..	700	379	575	4.55	5.77	2.27

La quantité d'eau était de 66.2 p. 100 à l'origine, elle est devenue :

Après 12 mois..	74.3	41.6	65.6			
Perte d'az. p. 100 après 12 mois.				30	14	64

Quand le fumier est fait, il convient donc de le conduire aux champs le plus rapidement possible, et en outre de ne pas le laisser étalé à la surface du sol, nous verrons plus loin en effet, qu'il est beaucoup moins efficace en couverture qu'à l'air libre.

MM. Muntz et Girard donnent dans leur ouvrage : *Les engrais*, l'exemple suivant de déperdition du fumier :

	Fumier de mouton.	
	Frais. kilogr.	Après six mois. kilogr.
Poids frais.....	7160.0	4210.0
Matière sèche	2341.0	1755.0
Azote total.....	43.7	38.7
Acide phosphorique.....	44.4	45.9
Potasse.....	122.4	96.0

Il y a donc eu perte de :

Matière sèche	586.0	soit	25.0 p. 100.
Azote.....	5.0	—	11.5 —
Potasse.....	26.4	—	21.5 —
Acide phosphorique.....	0.0		0.0

	Fumier de vache.	
	Frais. kilogr.	Après six mois. kilogr.
Matière normale.....	5329.000	3270.0
Matière sèche	2339.000	1504.0
Azote.....	43.165	32.7
Acide phosphorique	21.316	19.8
Potasse.....	77.300	65.4

Il y a donc eu perte de :

Matière sèche	835.0	ou	35.0 p. 100.
Azote.....	10.5	—	24.3 —
Acide phosphorique	1.6	—	7.3 —
Potasse.....	11.9	—	16.0 —

Le fumier exposé à l'air subit donc des pertes considérables; la masse se dessèche, la matière organique se brûle, l'ammoniaque se dégage, enfin si nous rappelons les expériences de M. Reiset, de M. Joulie, accusant des pertes notables d'azote libre dans des fumiers aérés, celles de M. Schlœing n'en constatant aucune dans un fumier fermentant énergiquement à l'abri de l'air, nous reconnaissons qu'il faut éviter avec le plus grand soin d'exposer longtemps le fumier à l'action de l'oxygène.

Cette intervention de l'air est cependant nécessaire pendant la fabrication, car nous avons vu que c'est seulement dans les parties où l'air, pénètre que la température s'élève à un degré assez élevé pour que les réactions soient énergiques; on se trouve donc entre deux alternatives : favoriser l'accès de l'air pour hâter les transformations, et on s'expose alors à des pertes considérables, ou bien restreindre la pénétration de l'oxygène, en risquant d'arrêter la fabrication entreprise par suite de l'abaissement de température; je crois que la méthode la plus judicieuse pour éviter à la fois ces deux inconvénients est de procéder à des arrosages méthodiques de la masse à l'aide du purin.

§ 223. — Arrosage du fumier.

Tout cultivateur soucieux de ses intérêts, construit une forme à fumier munie d'une fosse à purin dans laquelle arrivent les liquides

qui proviennent des bergeries, écuries ou étables, et les égouttages du fumier; une pompe puise ce liquide dans la fosse et à l'aide de gouttières s'emboîtant les unes dans les autres le déverse successivement sur tous les points de la surface. Ces arrosages ont lieu non seulement à des jours fixes, mais plus souvent si le temps est sec, et sont au contraire plus espacés, au moment des grandes pluies.

Nous avons vu que le purin est très alcalin, habituellement la potasse et l'ammoniaque n'y sont que partiellement à l'état de bicarbonates et par suite dissolvent facilement l'acide carbonique qui forme une partie importante de l'atmosphère confinée dans la masse, cette dissolution diminue la pression du gaz confiné et détermine un appel d'air, son oxygène active les combustions et le fumier s'échauffe.

Quand le fumier est régulièrement arrosé, l'atmosphère confinée est très chargée d'acide carbonique et même près de la surface : pauvre en oxygène, aussi, les champignons connus sous le nom de blanc de fumier ne s'y développent-ils pas. Quand on les voit apparaître, c'est que les combustions ne sont pas assez actives pour utiliser tout l'oxygène qui pénètre dans la masse, ce qui a lieu quand elle se sèche, il en faut conclure que les arrosages ne sont pas assez fréquents.

Quand ils sont régulièrement espacés, la fermentation est active, en effet, ainsi qu'il a été dit, le purin est très chargé de microorganismes très agiles, qui s'introduisent avec lui dans la masse, en outre, les sels ammoniacaux étant très solubles dans l'eau, en arrosant fréquemment surtout pendant la saison chaude, on évite la déperdition de l'ammoniaque.

Ces arrosages sont si utiles, que si la quantité de purin est réduite par suite d'une évaporation très active, je crois qu'il est avantageux de remplir d'eau la fosse à purin et de se servir de ce liquide étendu pour l'arrosage (1).

§ 224. — Sur la disposition a donner au fumier.

Ces dispositions sont très variées, elles peuvent cependant se classer en trois groupes.

(1) Conviendrait-il dans ce cas de dissoudre dans cette eau des carbonates de potasse ou d'ammoniaque, ou plus économiquement, les sulfates de ces deux bases qui seraient bientôt ramenés dans le tas à l'état de carbonates? C'est ce que je ne saurais affirmer, ne l'ayant pas essayé, mais je serais porté à conseiller aux cultivateurs des pays

1° Les places qu'occupent les animaux dans les étables sont en contre-bas des passages destinés à leur apporter les aliments, les animaux descendent dans ces sortes de fosses dans lesquelles s'accumulent leurs déjections qu'on recouvre chaque jour d'une mince couche de paille, le fumier est ainsi tassé constamment par l'animal lui-même Cette disposition présente cet inconvénient que la température de l'étable est très élevée, que les courants d'air s'y produisent amenant des maladies, en outre l'extraction du fumier est un peu laborieuse.

D'après M. Holdefleiss, directeur de la station agronomique de Breslau, le fumier ainsi produit est plus riche que celui qui est exposé à l'air, il contiendrait 5.4 p. 1000 d'azote contre 4.2 contenu dans celui qui est préparé dans les cours de ferme (1).

2° L'accumulation du fumier sous les animaux est en somme assez rare, et presque toujours le fumier s'entasse dans la cour de ferme, mais tantôt, il est étalé sur une très grande surface en contre-bas de la cour, cette place est désignée sous le nom de *fosse à fumier*, tantôt :

3° Au contraire la surface est restreinte et le fumier s'élève jusqu'à une hauteur de $2^{m},50$ à 3 mètres environ; il est placé dans le cas sur une *plate-forme*.

C'est ainsi qu'est disposé le fumier de Grignon, au milieu de la cour on a délimité deux surfaces légèrement bombées du centre aux bords par des ruisseaux pavés dont l'inclinaison est telle que les eaux d'égouttement se rendent dans deux fosses à purin, établies entre les plates-formes; chacune des plates-formes a 18 mètres sur 10, la surface totale est donc de 360 mètres carrés. Les fosses à purin présentent une capacité totale de 10 mètres cubes; ces fosses reçoivent directement par des caniveaux les liquides des vacheries, bergeries, écuries, qui occupent trois des côtés de la cour.

A Grignon, les deux places suffisent pour recevoir le fumier produit par 30 bêtes bovines, 15 chevaux, 500 moutons et 45 porcs environ. Le fumier est amené sur le tas par un plan incliné garni de planches pour faciliter le travail des garçons de cour qui le conduisent à la brouette. Le fumier est tordu sur les parois de façon à présenter de trois côtés un mur vertical, toutes les fois qu'on

chauds, exploitant des terres légères sur lesquelles le fumier est très efficace de voir si cette opération est avantageuse.

(1) Grandeau, *Revue agronomique du « Temps »*, 17 novembre 1891.

apporte de nouvelles litières, on les répartit uniformément sur toute la surface pour que le tas s'élève régulièrement.

Relations entre le fumier produit et le nombre des animaux entretenus. — Des chiffres compulsés par Girardin, il résulterait que les animaux produisent les quantités de fumier suivantes :

Désignation des animaux.	Poids de l'animal.	Poids du fumier en un an.
Vache laitière à l'étable.....	400	11.000
Bœuf à l'engrais.....	500	25.000
Cheval de trait.....	600	9.000
Bœuf de travail.....	600	11.000
Mouton au pâturage.....	40	500
Porc adulte.....	100	1.400
	2240	57.900
Rapports.....	1	25

Ces nombres varient naturellement beaucoup d'une exploitation à l'autre.

Voici ceux qui sont relatifs au bétail de Grignon.

Nombre d'animaux.	Poids moyen des animaux.	Litière par jour et par animal.	Fumier produit par tête et par an.	Fumier produit pour l'ensemble par an.
15 chevaux.....	600 kil.	6 kil.	8.500 kil.	127.500 kil.
10 bœufs de travail...	750	5	8.000	80.000
20 vaches.....	600	5	14.000	280.000
500 moutons.....	60	0.4	850	425.000
45 porcs.....	130	1.6	2.000	90.000
Rapports.....	2.140 kil.		33.350 kil.	1.002.500 kil.

Le rapport $\frac{33350}{2140} = 15.5$ est beaucoup plus faible que le précédent; en effet, à Grignon nous n'avons pas de bœufs d'engrais qui étant maintenus en stabulation produisent de grandes quantités de fumier.

On jugera des différences qu'on rencontre dans la production, suivant que les animaux sont employés aux travaux où sont maintenus à l'étable d'engraissement, par les nombres suivants qui nous ont été communiqués par l'administration des usines et domaines de Bourdon (Puy-de-Dôme).

Fumier produit par des bœufs de travail.

Noms des domaines.	Nombre d'animaux.	Poids moyen. kil.	Litière par jour. kil.	Litière totale. kil.	Nombre de jours de présence.	Nombre de jours de repos.	Nombre de jours de travail.	Fumier par tête et par jour. kil.	Fumier total. kil.
Bourdon....	12	751	4.7	20.685	4.380	2.008	2.372	21	91.940
Marmilhat..	28	685	5.8	60.700	10.220	5.376	4.844	29	298.880
Palbost.....	24	700	5.67	49.666	8.760	4.460	4.300	28	246.365

Les bœufs de travail à Grignon produisent par jour 23 kilos de fumier, chiffre analogue aux précédents.

Les animaux à l'engraissement donnent des quantités beaucoup plus élevées; voici celles qu'on a constaté pour les trois étables des domaines de Bourdon :

	Nombre d'animaux	Poids moyen par tête.	Litière par jour.	Litière totale.	Nombre de jours.	Fumier par tête et par jour.	Fumier par 1000 k. de poids vif et par jour.	Fumier total.
				Bourdon.				
		kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	kil.
Bœufs.....	27	764	5.8	11.494	1.982	60.0	79.0	120.060
Vaches.....	40	460	7.0	21.442	3.035	33.3	73.1	101.190
Jeunes bœufs..	17	423	7.6	8.300	1.088	33.0	78.0	35.980
				Marmilhat.				
Bœufs.....	33	709	10.0	28.350	2.782	68.0	91.0	165.540
Jeunes bœufs..	24	448	10.0	15.140	1.536	33.0	77.0	51.060
				Palbost.				
Bœufs.....	28	709	10.0	23.380	2.346	60.0	84.0	140.280
Jeunes bœufs..	24	448	5.7	8.760	1.536	32.0	73.0	50.180

Dans l'exemple de Girardin, un bœuf d'engraissement produirait 68k,5 de fumier par jour, les gros bœufs de Salers, engraissés en Auvergne en fournissent des quantités analogues, mais la production des jeunes bœufs est plus faible.

Si au lieu de prendre comme terme de comparaison le poids des animaux, nous prenons la litière, nous trouvons les nombres suivants :

	Poids de fumier fourni par 100 k. de litière pour les bœufs de travail.
Grignon	288
Bourdon	441
Marmilhat	492
Palbost	496

On voit qu'à Grignon la paille est employée comme litière en bien plus grande quantité qu'en Auvergne.

En résumé, nous trouvons qu'en élevant le fumier jusqu'à 3 mètres environ, avec des places de 360 mètres carrés on a un cube de 1080 mètres, et comme notre fumier est bien tassé, qu'il se coupe aisément à la bêche en tranches parfaitement nettes, on peut lui attribuer un poids de 850 kilos au mètre; d'où nous pouvons conclure qne les deux formes contiendraient 918 000 kilos de fumier, chiffre un peu inférieur à notre production annuelle; il est naturel qu'il en soit ainsi, car bien que les fumures d'automne soient bien plus importantes que celles de printemps, celles-ci enlèvent une partie du fumier de l'hiver, de façon que jamais les plates-formes ne contiennent la production totale d'une année.

Si au lieu d'élever le fumier comme on le fait à Grignon jusqu'à $2^m,75$ ou 3 mètres, on se borne comme dans le Nord à lui donner une épaisseur d'un mètre ou $1^m,50$ quand les fosses sont remplies, on est naturellement conduit à donner à celles-ci pour un nombre égal d'animaux des dimensions plus étendues qu'aux plates-formes.

Il est plus difficile de déduire du nombre des animaux de la ferme les dimensions à donner à la fosse à purin. Il est manifeste que ces dimensions sont liées à l'abondance des pluies; il est vraisemblable qu'une matière aussi poreuse que le fumier ne laisse guère passer que le dixième de l'eau qu'elle reçoit; si, comme à Grignon, la forme présente une surface de 360 mètres carrés; elle reçoit en une année par la pluie $360^m \times 0^m,5$ c'est-à-dire 180 mètres cubes d'eau, dont le dixième serait de 18 mètres cubes. Si on s'appuyait sur ces nombres pour calculer les dimensions de la fosse à purin on lui donnerait une capacité exagérée, en effet, les 500 millimètres d'eau, sur lesquels repose notre calcul, tombent dans la durée d'une année, et pendant ce long espace de temps, le purin qui a traversé quarante ou cinquante fois le tas de fumier s'est évaporé dans une large proportion, de telle sorte qu'en réduisant la fosse à 10 mètres cubes environ pour une place de 360 mètres carrés on a des dimensions presque toujours suffisantes (1).

Le rapport cesserait d'être exact si le fumier au lieu d'être disposé en cubes d'une hauteur de $2^m,50$ à 3 mètres était étalé comme dans le Nord; en effet, dans ce cas la masse à traverser par l'eau est beaucoup moins épaisse, les liquides qui ont passé au travers du

(1) En vingt-cinq ans de séjour à l'École de Grignon, je ne me rappelle pas avoir vu plus de trois ou quatre fois la fosse à purin déborder dans la cour; cela est arrivé en été après des orages déversant d'un seul coup d'énormes quantités d'eau.

fumier arrivent bien plus vite dans la fosse, et je ne serais pas étonné qu'il y eût avantage à prendre un rapport moitié moindre, c'est-à-dire que pour 400 mètres superficiels de plate-forme, il convînt de donner à la fosse 20 mètres cubes.

S'il est très important que le fumier reçoive régulièrement des arrosages de purin, il est nécessaire d'autre part qu'il ne soit pas lavé par les eaux pluviales ; s'il est en général inutile de le couvrir d'une toiture, il est tout à fait fâcheux de l'exposer à recevoir l'égouttage des toits.

Tous les agronomes sont d'accord pour répéter aux praticiens, que ne pas soigner son fumier c'est s'exposer à des pertes sérieuses et il faut reconnaître que si dans de petites exploitations besogneuses, où l'on est incapable de faire les frais de construction d'une fosse, le fumier est encore très négligé, dans tous les établissements bien tenus, on procède aujourd'hui régulièrement à sa fabrication. Les comices, les jurys de prime d'honneur ont très souvent donné des prix aux exploitations dans lesquelles les fumiers étaient bien préparés ; on ne saurait trop multiplier ces récompenses qui excitent les cultivateurs à donner tous leurs soins à cette fabrication, car bien fait et bien employé le fumier est le plus efficace de tous les engrais.

EMPLOI DU FUMIER.

Pendant longtemps le fumier de ferme a été le seul engrais régulièrement employé, les spéculations animales étaient alors étroitement liées à la culture et le progrès paraissait être corrélatif de l'augmentation du bétail entretenu sur les domaines.

Il n'en est plus ainsi aujourd'hui ; nous connaissons les éléments actifs du fumier, nous savons par quels principes il agit et on conçoit qu'on puisse le remplacer par d'autres matières fertilisantes renfermant ces mêmes principes ; de telle sorte que la question à discuter n'est plus : le fumier est-il nécessaire ? De nombreux exemples nous prouveraient qu'on peut s'en passer, mais bien : l'emploi du fumier est-il avantageux ? Sur quels sols, sur quelles plantes convient-il de l'employer ?

C'est en divisant la question que nous avons chance de la traiter utilement et nous nous occuperons d'abord de montrer comment agit le fumier dans la culture des terres fortes, puis ensuite dans celle des terres légères en donnant des exemples de l'emploi du fumier sur diverses plantes.

§ 225. — Emploi du fumier sur les terres fortes.

Les terres fortes, argileuses, présentent, ainsi que nous l'avons vu déjà § 109, la propriété d'être peu perméables à l'air et à l'eau, elles sont généralement assez humides, elles conservent les engrais qu'on leur fournit.

Ces prémisses étant posées, examinons d'abord quelle nature de fumier leur convient. Si elles reçoivent du fumier frais, pailleux, renfermant plutôt de l'ammoniaque que de la matière organique azotée, elles pourront y trouver de l'avantage, car le fumier diminuera la compacité du sol, l'ammoniaque qu'il renferme retenue par l'argile, par l'humus, n'aura pas de chance de se perdre. Cette ammoniaque est très nitrifiable il est vrai, mais comme l'air n'entre que très difficilement dans le sol, la nitrification est peu active, les chances de perte minimes; il est même à remarquer qu'en aérant le sol, le fumier pailleux favorisera la nitrification habituellement trop retardée dans les terres fortes; nous avons vu, page 622, que le fumier nitrifie dans une terre forte là où des engrais animaux compacts n'exercent plus d'action favorable. Dans ce fumier très pailleux, les réactions qui mettent en liberté la vasculose, matière première de l'humus, sont à peine commencées: le mal n'est pas bien grand, car le sol étant peu aéré, l'humus y persiste, et les débris des plantes que portent ces sols compacts suffisent souvent pour y maintenir une quantité d'humus telle, qu'elle enlève toute utilité particulière au fumier quand on cultive les plantes comme les céréales sur lesquelles l'humus n'exerce pas d'action spéciale. Aussi conçoit-on que ces terres fortes puissent être cultivées sans fumier. C'est ce que démontrent les exemples suivants.

Exemples de cultures sans fumier sur les terres fortes. — La célèbre expérience dans laquelle MM. Lawes et Gilbert ont maintenu la culture du blé à Rothamsted, sans jamais lui fournir de fumier, est justement célèbre : ces éminents agronomes ont donné il y a quelques années le résumé ci-joint des résultats obtenus dans la culture continue du blé : et bien que ces belles expériences aient déjà été présentées dans d'autres parties de ce volume, nous n'hésitons pas à les reproduire de nouveau, tant elles nous paraissent mériter l'attention.

Culture continue du blé à Rothamsted (moyenne de trente-deux ans).

	Grain en hectolitres à l'hectare.	Poids du grain en kilogr.	Paille et balles en kilogr. à l'hectare.
Sans engrais	11.81	73.5	1424
Fumier de ferme (35.140 kil.) (1)	30.15	75.0	3998
Engrais minéral et 420 kil. sulfate d'ammoniaque, 96 kil azote	29.47	74.4	4223
Engrais minéral et 616 kil. nitrate de soude, 96 kil. azote	32.62	74.4	5250
Engrais minéral et 672 kil. sulfate d'ammoniaque, 144 azote	32.62	74.0	5075

Il est manifeste que la fumure comprenant les engrais minéraux et le nitrate de soude a été plus efficace que celle qui comportait du fumier, bien que celui-ci fût donné avec profusion et renfermât plus d'éléments fertilisants que les engrais salins.

L'expérience ayant duré fort longtemps, les résidus, laissés par les chaumes et les racines de blé, peu abondants, on est en droit de conclure que la matière organique du fumier n'exerce aucune action spécifique sur le développement du blé, et que les engrais chimiques suffisent à cette plante.

M. Prout, dont nous avons rappelé les publications, cultive également le blé sur une terre forte avec des engrais de commerce sans fumier et atteint des rendements élevés.

La culture continue de l'orge a encore fourni à Rothamsted des résultats analogues pendant une longue expérience continuée de 1852 à 1871, c'est-à-dire pendant vingt ans.

Culture continue de l'orge.

	Grain en hectolitres à l'hectare.	Poids de l'hectolitre en kilos.	Paille en kilogr. à l'hectare.
Sans engrais	18.00	65.00	1474.6
Fumier, 35.000 kil.	43.42	67.50	3460.6
Nitrate de soude et engr. minér.	44.77	66.25	3964.0
Sels ammon. et engr. minér	41.62	67.50	3491.0

Nous donnerons enfin comme exemple la récolte du foin sur une prairie naturelle :

(1) Composition à l'hectare : du fumier et de l'engrais complet :

	Fumier.	Engrais complet.
Matières organiques sèches	8428	»
Azote	224	96
Acide phosphorique	173	157
Potasse	158	112

	Foin à l'hectare en kilos.
Sans engrais	2838
Fumier de ferme	5380
Sels ammon. et engrais minér	7111
Nitrate de soude et engrais minér	7176

Il est donc manifeste que sur les terres fortes comme celles de Rothamsted la culture sans fumier donne tantôt des rendements aussi élevés, tantôt supérieurs à celle qui emploie cet engrais.

M. Vœlcker a également cultivé en Angleterre des pommes de terre sans fumier, il a trouvé que très souvent, on obtenait avec les engrais salins des produits plus élevés que ceux que fournissait le fumier; mais ces expériences sont moins démonstratives que les précédentes, car elles n'ont pas été continuées pendant plusieurs années sur le même sol.

M. Pagnoul, au contraire, a maintenu pendant dix ans, dans le Pas-de-Calais, la culture de la betterave sur la même pièce, en soutenant la récolte avec un mélange de nitrates de soude et de potasse, de phosphate de chaux et de chlorure de potassium, à la neuvième année le rendement était de 58,000 kilog., par conséquent sensiblement égal à ceux qu'on obtient habituellement dans le pays avec du fumier.

Il n'en est pas toujours ainsi; si les engrais salins apportent à certains végétaux tous les aliments qui leur sont nécessaires, il arrive que sur certaines argiles ces engrais déterminent une modification physique des plus désavantageuses, les terres se lissent, deviennent dures à travailler, perdent leur plasticité. Nous avons dit déjà que, dans l'Isère, M. Michel Perret n'a pu continuer à cultiver sans fumier.

Il semble en être autrement si on substitue au fumier un engrais organique comme les tourteaux de maïs, ou des engrais verts, notamment les fucus employés par les cultivateurs des bords de la mer, mais dans ce cas l'humus est reconstitué constamment par les engrais organiques et on conçoit que le fumier ne soit plus nécessaire.

§ 226. — Emploi du fumier sur les terres légères.

Si nous examinons ce qui se passe dans des terres légères silico-argileuses comme celles que je cultive à Grignon, nous allons arriver à des résultats très différents suivant que nous considérons les cultures de diverses espèces :

Culture continue de l'avoine (cinq ans 1875-1879).

	Grain. Hectol. à l'hectare.	Poids de la paille à l'hectare.
Sans engrais	41.6	4283
Fumier de ferme	44.2	5576
Nitrate de soude, superphosph., chlorure de potassium	45.8	4756
Sulfate d'amm., superph., chlorure de potassium	44.1	4536

Si on ne considérait que la récolte des grains on trouverait que le fumier de ferme un peu inférieur au nitrate de soude donne à peu près les mêmes récoltes que le sulfate d'ammoniaque, il est à remarquer cependant que le poids de paille est plus élevé sur les parcelles au fumier que sur les terres qui ont reçu les engrais chimiques.

Culture continue des pommes de terre, variété Chardon (cinq ans, 1875-1879).

	Hectol. à l'hectare.
Sans engrais	244
Fumier de ferme	303
Azotate de soude, superph	286
Sulfate d'amm., superph	278

Le fumier est un peu supérieur aux engrais salins, mais ni les uns ni les autres ne présentent une grande efficacité.

Il n'en est plus ainsi pour le maïs fourrage :

On a obtenu :

Culture continue du maïs fourrage (cinq ans, 1875-1879).

	Fourrage vert à l'hectare.
Fumier	79.960 kilos.
Sans engrais	47.160 —
Azotate de soude, superphosphate	67.210 —
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate	52.370 —

L'ensemble des récoltes du maïs fourrage venues sur fumier sont donc supérieures ; il arrive même que cette supériorité est parfois excessive, c'est notamment ce qui a eu lieu en 1879 ; l'aspect du champ d'expériences était si curieux que j'en ai pris une photographie que nous reproduisons ici : la partie droite du dessin représente le maïs venu sur fumier, au milieu se trouve la parcelle sans engrais, très faible, mais qui ne diffère que médiocrement des parcelles de gauche qui avaient reçu du nitrate de soude.

Les rendements avaient été cette année-là :

Fumier	76.500 kilos.
Sans engrais	22.500 —
Azotate de soude, superphosphate	33.400 —
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate	33.000 —

Pour les betteraves les résultats sont également très variables d'une année à l'autre :

Betteraves Vilmorin récoltées à l'hectare.

	1876.	1877.
	kilos.	kilos.
Sans engrais	17.400	30.600
Fumier	19.500	44.000
Azotate de soude, superphosphate	21.400	37.100
Sulfate d'ammoniaque, superphosphate	15.250	30.100

	1887.	1888.
	kilos.	kilos.
Fumier	38.550	42.760
Azotate de soude	20.700	25.320
Sulfate d'ammoniaque	17.000	

Nous avons de plus insisté plus haut (page 471) sur la persistance de l'action du fumier dans les sols légers comme ceux de Grignon; son action se fait sentir plusieurs années après qu'il a été employé, tandis qu'il en est tout autrement pour les engrais salins dont l'effet ne persiste guère d'une saison à l'autre (voy. 472).

Le fumier présente dans les sols légers son maximum d'action sur le blé, une année après avoir été répandu : à Grignon, je n'obtiens de pleines récoltes de blé, que sur une ancienne fumure de fumier de ferme avec addition de 200 kilos de nitrate de soude au printemps. Il en est tout autrement, ainsi qu'il vient d'être dit, pour les betteraves et le maïs fourrage, c'est sur la fumure directe qu'ils fournissent les récoltes les plus fortes, mais il est bon cependant de distribuer le fumier pour les betteraves dès l'automne; employé au printemps, il est moins efficace.

§ 227. — Emploi simultané du fumier et des engrais salins.

Bien que sur les terres légères le fumier exerce une influence plus marquée que sur les terres fortes, employé seul, ainsi qu'on vient de le voir, son action est souvent médiocre, et surtout variable d'une année à l'autre; il en est tout autrement, quand au fumier

on associe, soit du nitrate de soude, soit du sulfate d'ammoniaque. Nous avons indiqué plus haut que les grandes récoltes ne s'obtiennent guère que par l'emploi simultané du fumier et de l'un de ces

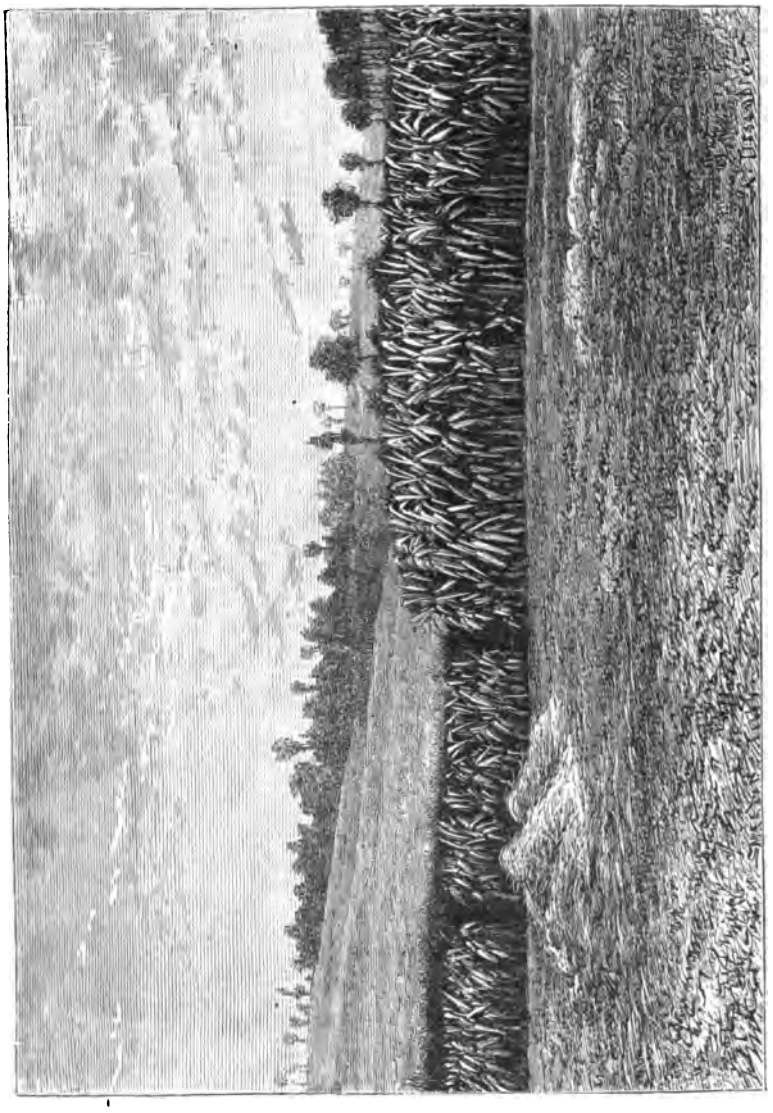


Fig. 54. — Culture du maïs fourrage au champ d'expériences de Grignon en 1879.

deux engrais, et c'est là une notion d'un haut intérêt; il en faut conclure que dans les exploitations où le fumier n'est pas très abondant, il est infiniment plus avantageux de donner à toute la

sole qui doit recevoir des engrais une demi-fumure de fumier de ferme à compléter par des engrais salins, plutôt que de conduire sur certains champs tout le fumier, et de répandre sur d'autres exclusivement des engrais chimiques.

Nous avons donné plus haut (page 664) de nombreux exemples des récoltes obtenues par ce mode de fumure, elles sont beaucoup plus élevées que celles que nous fournissent les engrais salins ou le fumier employés isolément.

Nous allons voir dans le paragraphe suivant qu'il est facile de concevoir pourquoi ce mode de fumure est particulièrement avantageux.

§ 228. — Des transformations que subit dans le sol le fumier enfoui.

Le fumier est pour nous un engrais dont les fonctions sont très complexes, il apporte au sol de la matière ulmique, maintenant en dissolution des matières minérales à un état assimilable, il lui apporte ses carbonates alcalins, qui, ainsi que nous le verrons, agissent sur les phosphates insolubles du sol, enfin il apporte de la matière azotée à deux états différents, sous forme d'ammoniaque et sous celle de matière organique azotée servant directement d'aliment à certaines plantes.

S'il est difficile de suivre les transformations de la matière carbonée introduite dans le sol, il est plus aisé de chercher comment l'ammoniaque et la matière organique azotée y prennent la forme essentiellement assimilable de nitrates.

J'ai disposé à Grignon, en 1891, une expérience destinée à élucider cette question ; de grands pots vernissés bien drainés par des cailloux ont reçu la terre légère de Grignon, la terre forte de Wardrecques, les terres très chargées d'humus de Marmilhat et de Palbost, la première terre provient du champ d'expériences, la seconde du domaine de M. Porion dans le Pas-de-Calais, les deux autres des terres exploitées par la sucrerie de Bourdon dans la Limagne d'Auvergne ; chacune de ces terres a été mise en expérience dans deux vases pouvant en contenir 50 kilos, mais l'un des deux a reçu un kilogramme de fumier tandis que l'autre restait à l'état normal. La fumure était donc considérable puisqu'elle correspondrait à 60,000 kilos pour le sol d'un hectare. Les terres sont restées sans végétation et on a recueilli les eaux de drainage, elles ont fourni les résultats suivants :

Nitrification du fumier (1 kilogramme renfermant 5 grammes d'azote).

Azote nitrique en milligrammes trouvé en excès dans les eaux provenant des terres fumées.

DATE DE LA RÉCOLTE des eaux de drainage.	GRIGNON. 1-2.	WARDRECQUES. 3-4.	MARMILHAT. 5-6.	PALBOST. 7-8.
24 mars	204	150	129	157
7 avril	294	205	199	121
30 mai	143	168	150	120
9 juin	64	89	114	62
22 juillet	154	28	69	7
4 septembre	111	33	23	55
11 octobre	122	39	67	— 44
	1093	712	751	478

Les deux échantillons de chacune des terres étant bien semblables, nous pouvons supposer que les différences constatées, inscrites au tableau ci-joint, proviennent de la nitrification des matières azotées du fumier. Un seul chiffre portant le signe — on voit que toujours, à une exception près, les eaux de drainage des pots 1, 3, 5, 7 qui avaient reçu le fumier ont été plus chargées que celles des vases correspondants 2, 4, 6 et 8 restés sans fumure. On remarquera en outre que la nitrification s'est produite d'une façon très différente dans les diverses terres.

La nitrification est partout très active pendant les trois premiers mois, au 9 juin il y a partout également un ralentissement marqué, mais à partir de ce moment les différences entre les diverses terres deviennent très visibles, tandis que la nitrification reste notable pour la terre de Grignon, elle devient très faible à Wardrecques, à Marmilhat et à Palbost, or ces quatre terres sont très différentes de constitution ; la terre de Grignon, comme il a été dit souvent, est une terre légère qui souffre beaucoup plus de la sécheresse que de l'humidité, c'est par les années humides, quand la moisson est tardive, qu'on y obtient de grandes récoltes de blé ; il en est tout autrement pour les autres terres, c'est par les années chaudes qu'elles donnent les récoltes les plus abondantes et nous devons insister sur la liaison qui existe entre l'efficacité du fumier et l'activité de sa nitrification. Le fumier se nitrifie bien mieux dans une terre légère bien aérée, quand elle est humide que dans une terre plus compacte, et c'est précisément dans ces conditions que l'on obtient

à Grignon les grandes récoltes de blé. L'azote du fumier se transforme plus facilement en nitrates dans les terres légères que dans les terres fortes et c'est là une des raisons qui expliquent comment il est plus efficace pour le blé, sur les unes que sur les autres.

Il semble qu'on puisse conclure encore de ces essais et du ralentissement si marqué qui s'est manifesté dans les trois terres fortes à partir du mois de juin, quand la température était devenue très favorable et que les sols étaient saturés d'humidité puisqu'ils laissaient écouler les eaux de drainage, que la nitrification s'est exercée successivement sur deux matières différentes.

On sait que le fumier renferme de l'azote à deux états différents (voy. p. 696), il y existe sous forme d'ammoniaque et sous celle de matières organiques; il semble, à voir l'énergie de la nitrification dans les quatre terres pendant les premiers mois d'expérience, qu'elle se soit exercée sur de l'ammoniaque, qui nous le savons est facilement la proie du ferment nitrique, elle a été nitrifiée très complètement dans la terre de Grignon, un peu moins dans celle de Wardrecques et sensiblement plus lentement dans les terres fortes de Marmilhat et de Palbost.

Plus tard la nitrification se ralentit partout, mais beaucoup plus sur les terres compactes que sur la terre légère de Grignon, et il semble qu'il faille conclure de ce ralentissement inégal de la nitrification dans des conditions essentiellement favorables, que cette oxydation a porté non plus sur une matière facile à brûler comme l'ammoniaque, mais sur la matière organique azotée qui résiste davantage et qui n'a été attaquée vigoureusement que dans la terre de Grignon très perméable à l'air.

Pour vérifier si cette manière de voir était justifiée, pour savoir si la matière organique azotée fournirait des nitrates, j'ai disposé l'expérience suivante : trois vases ont reçu de la terre de Grignon épuisée par la culture sans engrais, l'un a été amendé avec 1 kilogramme de fumier, le second a reçu l'eau de lavage de 1 kilogramme de fumier, lavage continué jusqu'à ce que l'eau passât incolore, un dernier a reçu cette même eau de lavage privée par ébullition avec de la magnésie des sels ammoniacaux qu'elle renfermait, on a obtenu les quantités suivantes d'azote nitrique :

Azote nitrique dans les eaux de drainage, en milligrammes.

DISPOSITION DES EXPÉRIENCES.	30 MAI.	6 JUIN.	22 JUILLET.	4 SEPTEMBRE.	11 OCTOBRE.
9. Terre de Grignon avec 1 kilogr. de fumier.....	76	60	70	74	116
10. Terre de Grignon avec l'eau de lavage d'un kilogr. de fumier..	82	62	68	72	118
11. Terre de Grignon avec l'eau de lavage d'un kilogr. de fumier privée d'ammoniaque.....	74	54	90	90	124

Si on compare entre elles les deux premières lignes, on voit que c'est la partie soluble du fumier qui est surtout attaquée par le ferment nitrique, les nombres fournis par la terre qui a reçu 1 kilogr. de fumier étant sensiblement égaux à ceux de la terre qui n'a eu que la matière soluble ; cette égalité montre en outre que la dissolution préalable de la matière azotée n'exerce pas grande influence sur l'activité de sa nitrification.

La comparaison de la seconde et de la troisième ligne fait voir que si, à l'origine, l'ammoniaque est entrée en jeu donnant plus d'azote nitrifié dans le vase n° 10 que dans le n° 11, puisque le n° 10 fournit pour les deux premiers dosages 144 milligrammes, tandis que le n° 11 n'en donne que 128, dès le 23 juillet ce dernier a repris l'avantage qu'il a conservé jusqu'à la fin de l'expérience, ce qui prouve que dans cette terre légère de Grignon la matière organique s'est très bien nitrifiée.

Nous pouvons donc tirer de ces expériences les conclusions suivantes :

1° La nitrification de l'ammoniaque du fumier se fait bien dans les terres fortes et dans les terres légères, plus lentement, toutefois, dans les terres fortes très chargées de matière organique comme celles de la Limagne d'Auvergne que dans celles qui n'en renferment qu'une quantité moyenne, comme la terre de Vardrecques.

2° La nitrification de la matière organique azotée du fumier se produit aisément dans les terres légères, mais les faibles quantités d'azote du fumier nitrifiées, du 22 juillet au 11 octobre, à Wardrecques, à Pasbost et à Marmilhat montrent que la nitrification de l'azote organique du fumier est lente au contraire dans les terres fortes.

§ 229. — Emploi des fumiers frais et des fumiers consommés.

L'expérience précédente démontre que, dans une terre forte comme celle de Wardrecques, l'ammoniaque se nitrifie aisément, mais qu'au contraire la matière organique azotée résiste, il en découle que si nous fumons une céréale, qui ne bénéficie guère que des nitrates, nous devons employer le fumier à un état tel que sa nitrification soit active; par conséquent nous devons le prendre peu fermenté, c'est-à-dire très imprégné d'ammoniaque, non encore métamorphosée par l'action des ferments en matière organique azotée.

Si donc un cultivateur exploite ainsi qu'il arrive souvent des terres de natures différentes, il devra de préférence conduire le fumier qui a séjourné peu de temps sur la plate-forme sur les terres fortes et réserver celui qui occupe la partie inférieure de la masse sur les terres légères.

Cette manière de faire est d'autant mieux justifiée qu'un fumier un peu pailleux aère un sol trop compact, y facilite l'arrivée de l'air; à côté de cet avantage se rencontre le danger d'avoir au moment des semis une terre soulevée, creuse, dans laquelle il n'y ait pas contact intime entre les radicelles et les molécules terreuses, de telle sorte que les roulages seront nécessaires.

Il convient au contraire d'employer sur une terre légère très perméable à l'air un fumier consommé pour éviter qu'une nitrification trop rapide entraîne une déperdition telle que les plantes ne trouvent plus, soit à la fin de la saison, soit l'année suivante, une alimentation azotée suffisante.

Les conclusions que nous déduisons des expériences précédentes sont au reste absolument d'accord avec les pratiques des cultivateurs; on fait usage dans les terres légères de fumiers très consommés, j'ai vu dans l'Allier des femmes distribuer du fumier tellement fermenté qu'il se cassait à la main, tandis qu'au contraire, dans les sols argileux de la Brie cultivés en billons même lorsqu'ils sont drainés, les fumiers pailleux sont disposés dans les sillons des charrues pour être enterrés à son parcours suivant.

§ 230. — Durée d'action du fumier. — Fumures mixtes.

L'expérience relative à la nitrification du fumier, exécutée à Grignon en 1891, que nous avons rapportée plus haut, présente un intérêt sur lequel il convient d'insister.

Si nous réunissons l'ensemble des nombres trouvés, nous reconnaissons que l'azote nitrique total obtenu provient d'une part de la matière azotée du sol, c'est celui que nous a donné l'analyse des eaux écoulées des vases 2, 4, 6 et 8 sans fumier, celles des autres vases 1, 3, 5, 7 ayant reçu du fumier donnent l'azote nitrique provenant à la fois de la matière azotée du sol et de celui du fumier; or nous trouvons pour l'ensemble de ces deux quantités les chiffres suivants :

Azote nitrique des eaux de drainage provenant de diverses terres, fumées ou laissées sans engrais, mars-octobre 1891 (en milligr.).

	Terres		Différences :
	fumées.	sans engrais.	
Grignon	2224	1131	1093
Wardrecques	1307	595	712
Marmilhat	1411	660	751
Palbost	1205	727	478

La moitié environ de l'azote nitrique recueilli provient du fumier introduit, par conséquent l'autre moitié est due à la nitrification des matières azotées formées spontanément dans le sol, des débris des végétations antérieures et enfin des anciennes fumures.

On voit, en effet, que dans le cas le plus favorable celui de la terre de Grignon, un cinquième seulement de l'azote du fumier a été nitrifié l'année même de son emploi, les quatre autres cinquièmes de l'azote introduit sont restés dans le sol et oxydés peu à peu serviront les années suivantes, apportant à la fumure récente un supplément d'azote nitrique presque égal à celui qu'elle fournit elle-même. Pour les autres terres la fraction du fumier utilisé pendant la première année n'est plus d'un cinquième, mais seulement de $\frac{500}{7} = 7$ pour Wardrecques, $\frac{500}{75} = 6.6$ pour Marmilhat et $\frac{500}{47} = 10$ pour Palbost. Elle est donc très inégale d'une terre à l'autre, ainsi qu'il a été dit déjà.

Si on admet que la plus grande partie de l'azote assimilé l'est sous forme d'azote nitrique, ce qui n'est absolument exact que dans le cas des céréales, on reconnaît, d'après les expériences précédentes, qu'il faut considérer le fumier comme un engrais lent n'épuisant pas l'année même de son emploi toute son action, mais au contraire accumulant dans le sol des réserves qui ne s'épuiseront que lentement, aussi les cultivateurs habiles cherchent-ils par l'emploi du fumier à maintenir dans leur sol ces richesses qu'ils désignent sous les noms d'*engrais en terre, de vieille graisse, de vieille force.*

Cette lenteur de nitrification du fumier, qui souvent retardée par la sécheresse ne se produit pas en temps opportun, explique en outre le grand avantage qu'on a trouvé à employer les fumures mixtes. En ajoutant au fumier du nitrate de soude, on se place dans d'excellentes conditions : en effet nous venons de voir, dans l'expérience précédente, que jusqu'au 20 mai le dixième seulement de l'azote du fumier est nitrifié, si on a fumé à 30,000 kilos, on a introduit dans le sol 150 kilos d'azote, dont 15 kilos seulement seront utilisés, or cette quantité est manifestement insuffisante pour soutenir une récolte de blé, *à fortiori* de betteraves, et le nitrate de soude sera très utile puisqu'en l'employant au printemps, on est certain de fournir à la plante au moment convenable une alimentation d'autant plus précieuse que les nitrates s'accumulent souvent en nature dans la plante même. Ils y constituent des réserves qu'elle utilise à la formation des albuminoïdes, à mesure que les hydrates de carbone, provenant de l'activité chlorophylienne deviennent plus abondants.

En résumé il faut considérer le fumier comme un engrais qui ne dépense qu'une fraction de sa matière azotée l'année même de son application; les autres fractions ne s'oxydent que lentement, mais entrent en jeu les années suivantes, elles constituent cette richesse accumulée dans les sols bien cultivés, qui conduit aux grands rendements.

La nitrification des matières azotées du fumier étant étroitement liée aux conditions climatériques, en général peu favorables au premier printemps, il est avantageux de joindre aux fumures du fumier de ferme, des nitrates dont l'action est plus rapide.

§ 231. — Emploi du fumier enfoui ou en couverture.

Je crois qu'on ne doit employer le fumier en couverture que lorsqu'il est tout à fait impossible de faire autrement, or ce cas est aujourd'hui très rare, puisqu'il est facile de se procurer des engrais pulvérulents : tourteaux, poudrettes, guanos, nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, superphosphates, etc., qu'on peut facilement enfouir par un léger hersage.

Dans les essais que j'ai faits à Grignon le fumier en couverture a donné des résultats bien inférieurs au fumier enfoui, il est naturel qu'il en soit ainsi, le fumier en couverture se dessèche facilement et perd une quantité notable d'azote sous forme d'ammoniaque.

Nous trouvons dans les cultures de maïs fourrage de Grignon particulièrement intéressantes parce que le fumier exerce sur cette plante une action décisive, un très bon exemple de la supériorité du fumier enterré sur le fumier en couverture.

Récolte de maïs fourrage obtenu.

	1878.	1879.
40.000 kil. de fumier enfoui.....	78.000 kil.	87.000 kil.
— — en couverture..	71.600	58.000

Pour les pommes de terre l'effet est moins marqué, cependant les résultats sont dans le même sens.

Hectolitres de pommes de terre à l'hectare.

	1878.	1879.
40.000 kil. de fumier enterré.....	202	275
— — en couverture.....	188	257

Nous avons en outre indiqué plus haut que les résidus laissés par le fumier enterré ont été beaucoup plus efficaces pour la culture du blé que ceux qui ont persisté après la fumure en couverture. Il en est de même pour la culture du sainfoin, les trois récoltes de 1879-80 et 81 ont donné en moyenne :

Fourrage sec obtenu sous l'influence des fumures antérieures.

Fumier enterré.....	8.269
— en couverture.....	5.931

§ 232. — Composts. — Mélange du fumier a la chaux.

Depuis longtemps les cultivateurs de l'Ouest de la France, travaillant des terres granitiques ou schiteuses pauvres en chaux, ont pris l'habitude de faire des mélanges de chaux et de fumier. Ils opèrent de la façon suivante : on creuse un fossé dans lequel on dépose de la chaux vive, on la couvre de terre, après quelques jours cette chaux s'éteint, se réduit en poudre, quand elle est amenée à l'état de farine, on la mélange à la terre, et on apporte alors le fumier le long de cette *tombe*, puis on mélange le fumier avec le compost de chaux et de terre; ces mélanges doivent être préparés deux mois au moins avant d'être employés.

Cette pratique a été fort blâmée autrefois, elle paraît aujourd'hui fort raisonnable; dans l'enquête sur les engrais industriels de 1864,

Boussingault ayant à discuter cette méthode d'emploi du fumier s'exprime ainsi :

« Au commencement de ma carrière agricole j'étais très prévenu contre le mélange de chaux et de fumier, parce que j'étais sous l'empire de cette préoccupation qu'il existait beaucoup d'ammoniaque dans le fumier, mais quand analysant les fumiers de Grignon, du Liebfrauenberg, d'Angleterre j'ai reconnu qu'il y en avait très peu, j'ai compris comment on pouvait faire de ces composts. »

Nous comprenons encore mieux aujourd'hui leur utilité : nous avons vu plus haut (page 622) que MM. Muntz et Girard ont reconnu qu'en introduisant des matières azotées dans un sol à réaction acide dépourvu de calcaire comme ceux de la Mayenne, on n'y voyait apparaître aucune trace de nitrates, mais qu'au contraire ces sels se formaient facilement, aussitôt que le sol avait reçu une quantité de marne et de chaux suffisante pour lui donner la légère réaction alcaline nécessaire au développement du ferment nitrique; or c'est précisément ce que font les cultivateurs de la Mayenne : en mélangeant du fumier avec de la chaux et de la terre, ils mettent peut-être en liberté une petite quantité d'ammoniaque en décomposant les sels ammoniacaux ou même les matières organiques azotées, mais cette ammoniaque n'est pas perdue, elle est retenue par la terre que renferme le mélange; tant que la masse n'est pas exposée à l'action de l'air, il ne se fait pas de nitrates, mais aussitôt que le compost est divisé en petits tas, puis épandu à l'air, et enfin enfoui dans le sol, tous les éléments se trouvent réunis pour favoriser une nitrification active qui permet de pousser les récoltes jusqu'à 30 hectolitres au lieu de rester à 12 ou 14 comme autrefois.

Le compost exerce sans doute en outre une influence très avantageuse sur les matières ulmiques du fumier; l'ulmate de chaux qui se produit certainement est particulièrement efficace sur certaines plantes et il n'est pas douteux que cet ulmate ne se produise dans les composts de la Mayenne.

Autant le mélange de fumier et de chaux est justifié dans les contrées où le calcaire fait défaut, autant il serait désastreux dans des pays où le calcaire existe en quantité suffisante. Sur nos sols de Grignon un pareil mélange a été essayé par un fermier à fin de bail qui espérait utiliser plus complètement, qu'en le laissant à l'état normal, le fumier produit pendant ses dernières années; l'effet a été absolument fâcheux, les terres qui avaient reçu cet engrais n'ont fourni pendant plusieurs années que de très maigres récoltes, la

chaux en coagulant l'argile avait exagéré les défauts de dessiccation que présente le sol du domaine de l'École.

Nous avons comparé à diverses reprises le fumier aux engrais chimiques, sans nous préoccuper des prix de l'un et de l'autre, parce que cette question est traitée dans les derniers chapitres de cet ouvrage : *Engrais chimiques et valeur des engrais.*

GADOUES. — BOUES DE VILLE.

Les habitants d'une grande ville abandonnent à la rue une masse énorme de détritus de toute espèce, qui après avoir été triés par les chiffonniers, sont enlevés par des voitures, mis en dépôt dans certains endroits réservés, puis expédiés par wagons dans les campagnes environnantes; comme les compagnies de chemins de fer ont fait à ces résidus des tarifs très réduits, ils peuvent être utilisés avec grand profit dans les cultures, voisines des lignes du chemin de fer.

On distingue les gadoues en deux sortes : quand elles sont transportées fraîches, passant directement des tombereaux dans les wagons ou les bateaux pour être conduites aux champs, elles portent le nom de gadoues vertes; quand au contraire elles ont été d'abord réunies en tas, dans lesquels elles éprouvent une fermentation assez active, la température s'élève dans la masse qui émet une odeur nauséabonde, les débris végétaux subissent un commencement de combustion lente et se transforment en humus; le produit prend dans ce cas le nom de gadoues noires.

M. Muntz a déterminé la composition de ces diverses matières (1), il a trouvé par kilogr. :

	Gadoues vertes de Paris		noires		de Bruxelles (2)	
	des tombereaux.	des grilles d'égout des Halles.	de Bagneux.	de Gentilly.	juillet.	novembre.
Azote.....	3gr,8	2gr,6	4gr,5	3gr,9	3gr,9	1gr,7
A. phosph.....	4 ,1	3 ,1	5 ,8	4 ,5	6 ,0	4 ,4
Potasse.....	4 ,2	2 ,4	5 ,2	2 ,9	3 ,1	3 ,2
Chaux.....	23 ,7	32 ,0	37 ,5	29 ,2	31 ,7	37 ,0

En donnant à ces divers éléments les valeurs de 1fr,50 pour l'azote, 0fr,50 pour l'acide phosphorique, 0fr,40 pour la potasse, 0fr,01 pour la chaux, on voit que la tonne vaudrait de 6 à 8 francs

(1) *Les engrais*, tome I, p. 429.
(2) *Analyse de M. Petermann.*

et quand les frais de transport ne sont pas trop élevées, l'emploi peut être très avantageux.

CHAPITRE X

PHOSPHATES.

Quand, en, 1856, M. de Molon annonça la découverte, en France, de nombreux gisements de phosphate de chaux fossile, l'esprit des agronomes était encore si peu familiarisé avec l'emploi des phosphates, que bien que le noir animal fût de plus en plus recherché, que son prix haussât sans cesse, que les superphosphates fissent partie des fumures régulières dans toute la Grande-Bretagne, la presse agricole fut plutôt hostile que favorable à cette découverte (1).

Pendant les premières années, l'extraction des phosphates fossiles se traîna péniblement; aujourd'hui, les difficultés qu'avait soulevées l'ignorance où l'on était de leur efficacité, sont vaincues; en 1886, on a extrait, en France, 186,000 tonnes de nodules valant plus de 7 millions de francs. Si on joint à ces chiffres ceux qui représentent la consommation des scories de déphosphoration, du noir animal, des guanos phosphatés et des superphosphates préparés avec les apatites et les phosphorites, on reste convaincu que la génération qui cultive actuellement, plus éclairée que celle qui l'a précédée, profitera chaque jour davantage des très grands avantages que lui assure l'emploi judicieux des engrais phosphatés.

Le chapitre consacré à l'étude des phosphates comprend les divisions suivantes :

HISTORIQUE DE L'EMPLOI AGRICOLE DES PHOSPHATES.

PHOSPHATES MINÉRAUX.

§ 233. — Apatites et phosphorites.
§ 234. — Sables phosphatés.
§ 235. — Nodules ou pseudocoprolithes.
§ 236. — Scories de déphosphoration.

PHOSPHATES D'ORIGINE ANIMALE.

§ 237. — Os et noir animal.
§ 238. — Guanos phosphatés.

(1) *Comptes rendus*, t. XLIII, p. 1178, 1856.

SUPERPHOSPHATES.

§ 239. — Constitution des superphosphates.
§ 240. — Fabrication
§ 241. — Réactions qui se produisent après la fabrication. — Rétrogradation.
§ 242. — Valeur agricole de l'acide phosphorique rétrogradé.
§ 243. — Phosphates précipités.

EMPLOI DES ENGRAIS PHOSPHATÉS.

§ 244. — Terres sur lesquelles les phosphates ont chance de réussite.
§ 245. — Terres sur lesquelles les phosphates n'ont pas chance de réussite.

EMPLOI DES PHOSPHATES NATURELS.

§ 246. — Essais de laboratoire.
§ 247. — Influence de la pulvérisation.
§ 248. — Terres sur lesquelles les phosphates réussissent.
§ 249. — Emploi successif des phosphates et de la chaux.

EMPLOI DES SUPERPHOSPHATES.

§ 250. — Expériences de laboratoire.
§ 251. — Expériences de culture.
§ 252. — Comparaison entre les superphosphates et les phosphates non traités par l'acide sulfurique.
§ 253. — Comparaison entre les superphosphates et les scories de déphosphoration.
§ 254. — Résumé. — Mode d'emploi des engrais phosphatés.

HISTORIQUE DE L'EMPLOI DES PHOSPHATES EN AGRICULTURE.

Les analyses qu'exécuta Th. de Saussure au commencement de ce siècle lui montrèrent que les phosphates existent dans tous les végétaux, et dès 1804 il écrivait ces mémorables paroles qui auraient dû dès cette époque, éveiller l'attention sur la véritable cause de l'effet utile des os : « Le phosphate de chaux con-

tenu dans un animal ne fait peut-être pas la 5/100e partie de son poids; personne ne doute cependant que ce sel ne soit essentiel à la constitution de ses os. J'ai trouvé ce même composé dans les cendres de tous les végétaux où je l'ai recherché, et nous n'avons aucune raison pour supposer qu'ils puissent exister sans lui » (1).

L'emploi, sur une grande échelle, des engrais phosphatés, ne s'établit cependant qu'avec une extrême lenteur: une fabrique d'objets d'os fondée depuis de longues années à Thiers, dans le Puy-de-Dôme, paraît avoir fourni à l'agriculture les premiers débris d'ossements qu'elle employa; toutefois les bons effets qu'elle en ressentit eurent peu de retentissement, et c'est en Allemagne que semble avoir pris naissance l'usage de la poudre d'os dans la grande culture.

Si l'on en croit Friederich Ebner (2), ce serait un habitant de Sollingen, M. Friederich Kropp, qui, en 1802, aurait eu l'idée de substituer les os pilés aux engrais ordinaires employés pour fumer les terres. Malgré le succès obtenu, l'usage des os ne se répandit en Allemagne que très lentement; mais aussitôt que les bons effets de cette matière eurent été constatés en Angleterre, son emploi prit au contraire très vite un énorme accroissement.

Une usine destinée au broyage des os s'établit à Hull, dans le comté d'York. Les os réussirent si bien, surtout pour la culture des turneps, base de la belle agriculture du Norfolk, que bientôt, malgré l'énorme consommation de viande du pays, les bouchers furent dans l'impossibilité de suffire aux demandes; on s'adressa au continent. De toutes parts les os arrivèrent à l'établissement de Hull, auquel plusieurs autres vinrent bientôt faire concurrence; chacun d'eux livra journellement plus de 2000 kilogrammes de poudre d'os. En 1822, l'Angleterre tira de l'Allemagne plus de 30000 kilogrammes d'ossements recueillis sur les champs de bataille des dernières guerres (3). En 1825, on expédia du seul port de Rostock, dans le duché de Mecklembourg, près de 2 millions d'os de bœuf pour les manufactures de Hull. L'Espagne exporta également les masses d'ossements provenant de la destruction de la cavalerie anglaise lors de l'embarquement rapide de l'armée de la Grande-Bretagne à la Corogne.

En France, l'emploi des os fut plus lent à se répandre; toutefois il existait en 1826 plusieurs usines destinées au broyage des os, notamment en Alsace, où l'une d'entre elles fut visitée par Darcet et par Gay-Lussac. Il est remarquable que le propriétaire de cet établissement fût tombé empiriquement sur un des mélanges les plus actifs que puisse employer l'agriculture. Il mélangeait à 90 parties de poudre d'os broyés 10 parties de salpêtre, pour empêcher, disait-il, la fermentation des os. Les travaux de Boussingault ont montré depuis que l'association du nitrate de potasse et du phosphate de chaux était une des plus fécondes qu'on pût imaginer : cette poudre se vendait 16 francs les 100 kilogrammes.

Emploi du noir animal comme engrais. — L'emploi des os commençait aussi à se répandre dans le Palatinat, quand la découverte du pouvoir décolorant du noir animal pour les sirops de sucre vint encore activer la consommation des résidus d'os.

(1) *Recherches chimiques sur la végétation*, an XII, p. 261.
(2) *Annales de Roville*, t. VI, p. 376. — *De l'emploi des os pilés comme engrais, dans la Grande-Bretagne*, par J. C. Fawtier, 1830.
(3) *Loc. cit.*

M. Payen signalait, dès l'année 1822, les bons effets qu'il avait obtenus de l'emploi comme engrais du noir de raffineries : « J'ai observé, depuis ces nouvelles modifications apportées dans le travail des raffineries, que les résidus du noir employé au raffinage du sucre pouvaient, dans beaucoup de circonstances, activer la végétation d'une manière très utile; j'ai déjà acquis beaucoup de données certaines des avantages que présente, sous ce rapport, cette matière que les raffineurs étaient obligés de transporter dans les décharges publiques; déjà des quantités considérables ont été répandues avec fruit dans notre plaine de Grenelle et sur quelques autres points de grande culture, et je me propose de publier les effets obtenus de cet engrais nouveau, qui ne peut manquer d'être employé bientôt en totalité et fort utilement. » (*Annales de l'industrie*, t. VI, p. 261.)

Pendant les longues guerres maritimes de l'empire, l'extraction du sucre de la betterave avait commencé à se généraliser; lorsque la paix fut rétablie, elle reprit, après quelques hésitations, un nouvel essor, en même temps que nos colonies nous envoyaient des sucres bruts à traiter dans la mère patrie. Ces industries employèrent bientôt des quantités considérables du noir d'os recommandé par M. Payen, et l'agriculture put disposer d'une masse énorme de ce produit.

« C'est donc vers cette année 1822 qu'on essaya d'utiliser aux environs de Nantes les énormes dépôts de noir animal qui, après avoir servi à la clarification des sucres, s'accumulaient inutiles et gênants aux abords des raffineries de cette ville; et, moins de quinze ans apres, malgré l'esprit de routine des cultivateurs de cette contrée, malgré une hausse énorme de prix, Nantes, ne pouvant plus suffire aux demandes incessantes de l'agriculture bretonne et vendéenne, s'adressait à tous les centres de raffinerie de sucre de France et de l'étranger, et importait annuellement environ 15 millions de kilogrammes de noirs résidus. Le commerce des engrais, à Nantes, consiste surtout dans la vente du noir animal. Les transactions de cette substance, principalement de mars à septembre, présentent une activité dont il est difficile de se faire une idée, lorsqu'on n'en a pas été témoin. On voit arriver dans ce port les résidus de la clarification des raffineries de Paris, de Bordeaux, de Marseille, de Livourne, du Havre, d'Orléans, de Londres, de Hambourg, d'Amsterdam, de Stettin, de Kœnigsberg, de Venise, etc.; les noirs en pains de Saint-Pétersbourg, de Riga, de New-York; les résidus de la revivification et du blutage des sucreries indigènes; les noirs fins provenant de la carbonisation des os, après extraction de la gélatine; les produits de la calcination des déchets de boutonneries, etc. Toutes ces substances forment par an un total de 17 millions de kilogrammes environ, savoir : 7 millions de noir animal de provenance étrangère, et 10 millions de noir animal de provenance française. Le prix de vente, qui n'était à l'origine que de 2 francs l'hectolitre (du poids de 95 kil.), s'est élevé à 5, 10, 12 et 14 francs; en 1855, il a été compris, selon les qualités, entre 12 et 16 francs, ce qui correspond à 12 fr. 63 et 16 fr. 84 le quintal métrique (126 à 168 fr. la tonne). A raison d'un prix moyen de 13 francs, on voit que le commerce des noirs pour l'agriculture s'élève à Nantes à une somme annuelle de 2210000 francs (1). »

(1) MM. Barral et Moll, *Sur l'emploi agricole du noir animal* (*Journal d'agriculture*

Depuis cette époque, les quantités importées à Nantes ont encore augmenté : en 1857, on arrive à 193000 hectolitres; en 1858, 246000; en 1859, 259000; en 1860, 255000. A partir de 1860, Nantes n'est plus le seul lieu d'importation des noirs, et, d'après les chiffres donnés par M. Bobierre (*Leçons de chimie agricole*, Masson), les quantités oscillent de 150000 à 100000 hectolitres.

A l'époque où les os pulvérisés commencèrent à être employés par l'agriculture, la chimie agricole était peu avancée, et ne trouva pas immédiatement l'explication de l'effet heureux de ces substances.

M. Fawtier, dont nous avons cité l'article sur l'emploi agricole des os, après avoir rappelé qu'ils renferment trois ordres de substances : des matières alcalines ou terreuses, des cartilages, de la gélatine, et enfin de la graisse, s'énonce en ces termes : « Nous pouvons négliger un des composés terreux, c'est-à-dire le phosphate de chaux, parce qu'étant indestructible, insoluble, il ne peut servir d'engrais, lors même qu'il se trouverait placé dans un sol humide et dans le voisinage immédiat des racines des plantes, c'est-à-dire dans une combinaison de circonstances douées d'une puissance analytique plus grande que tous les procédés de la chimie inorganique. »

Plus tard on n'attribua qu'à la gélatine les bons effets agricoles des os. C'est ainsi que M. Payen, voulant expliquer les anomalies signalées dans l'emploi agricole du noir animal et la non-réussite des os déjà fermentés, s'exprime ainsi : « Ils ne renferment plus, après avoir fermenté pendant quelques jours, que 2/100e environ de gélatine, et n'ont plus d'utilité sensible comme engrais (1). »

Toutefois une autre opinion ne tarda pas à s'établir. Depuis fort longtemps on avait découvert dans les cendres des graines une grande quantité de phosphore. Polt, le premier, paraît l'avoir signalé; Margraff (2), puis Vauquelin, et enfin Théodore de Saussure (3), en trouvèrent également.

S'appuyant sur la connaissance de ces faits, Liebig, qui a tant contribué à faire admettre l'influence des éléments minéraux sur le développement des plantes, ne pouvait méconnaître dans l'engrais d'os l'importance du phosphate de chaux.

Les os et le noir animal agissent par leur phosphate de chaux. — Expériences du duc de Richmond. — Ce n'est cependant qu'en 1843 que le duc de Richmond ayant disposé une série d'essais sur l'emploi des os, démontra par des expériences directes sur le sol, que l'action des os calcinés ou bouillis, privés de tout ou partie de leur matière grasse et de leur gélatine, n'est guère inférieure à celle des os crus, et il en conclut, contre l'opinion générale, que le principe fertilisant des os n'est ni la graisse ni la gélatine, mais bien le phosphate de chaux. Il alla même plus loin, et pensa que ce n'était pas la chaux la partie la plus active des os, mais l'acide phosphorique qui cédait son phosphore aux céréales (4). Il est peu de travaux scientifiques

pratique, 1856). — M. Elie de Beaumont, *Étude sur l'utilité agricole et sur les gisements géologiques du phosphore*, 1857, p. 15.

(1) Payen, *Mémoires de la Société royale d'agriculture*, 1832, t. LX.

(2) *Opuscules chimiques* de Margraff, t. Ier, p. 68.

(3) *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 296.

(4) *Journal d'agriculture pratique*, 2e série, 1849, t. VI, p. 238.

qui aient eu une influence pratique aussi immédiate que celle du noble agronome anglais. Des expériences nombreuses suivirent bientôt celles qu'il avait imaginées, et, aussi bien en France que de l'autre côté de la Manche, la justesse des vues du duc de Richmond étant reconnue, on songea à utiliser les phosphates fossiles décrits par les géologues et employés seulement jusqu'alors dans quelques localités.

Dans le Suffolk et dans le Norfolk on exploitait, en effet, depuis un temps immémorial, un dépôt de coquilles, et on l'employait à l'amendement des terres. Ce dépôt est analogue au falun de Touraine, exploité aussi depuis des siècles pour le même usage.

Découverte et emploi des phosphates minéraux. — En 1818, puis en 1820, Berthier avait signalé en France l'existence de phosphate de chaux sur la plage du Pas-de-Calais, près de Wissant, et au cap de la Hève, près du Havre, sous forme de nodules disséminés au milieu des galets.

En 1822, le docteur Buckland annonça la présence de nombreux débris animaux, riches en phosphate de chaux, dans le Yorkshire. Plus tard, en 1829, ce savant éminent lut, à la Société géologique de Londres, un mémoire très important dans lequel il fit connaître la découverte faite par lui de nombreux coprolithes, ou *fossil fæces*, dans le lias de Lyme-Regis (Dorsetshire). M. Buckland avait encore trouvé ces mêmes coprolithes dans plusieurs couches du terrain oolithique, dans le grès vert, dans la craie et dans diverses couches sédimentaires (1). Ces découvertes, restées stériles avant les expériences du duc de Richmond, acquirent bientôt un extrême intérêt. Successivement M. Acton, M. Nesbit, indiquèrent en Angleterre des gisements de phosphate de chaux fossile, en rognons, dans diverses localités. En 1847, on remarqua que les os ne produisaient aucun effet sur des terres assez fertiles reposant sur un sous-sol de grès vert supérieur et inférieur. Cela devait faire soupçonner que le phosphate de chaux se trouvait naturellement dans ces terrains; ils furent analysés par M. J. C. Nesbit, qui y découvrit une proportion inaccoutumée d'acide phosphorique. La roche, concassée et lessivée, laissa apparaître des nodules renfermant 28 p. 100 d'acide phosphorique.

En 1848, M. Paine, de Farnham, sur les propriétés duquel avaient été trouvés les nodules, annonça que ces rognons de phosphate de chaux avaient été employés avantageusement par lui pour remplacer les os pulvérisés (2).

C'est cette exploitation que vit Dufrénoy, quelques années plus tard; il constata le bon effet obtenu sur les cultures, mais sans pouvoir connaître la dépense qu'occasionne son emploi, et sans, par conséquent, pouvoir décider l'avantage qui en résulte (3).

Les géologues avaient décrit depuis longtemps un gisement de phosphate de chaux en Estramadure; il fut visité de nouveau en 1843 par MM. Daubeny et Widdrington, qui étudièrent les circonstances dans lesquelles il pourrait être avantageusement exploité.

(1) Buckland, *Reliquiæ diluvianæ* (1823). — *Geological Transactions*, 2e série, vol. III, p. 223. — Elie de Beaumont, *loc. cit.*, p. 21.

(2) *Quarterly Journal of the geological Society.*

(3) Dufrénoy, *Traité de minéralogie*, 2e édit., 1856, t. II, p. 352.

Dès 1847 (1), M. Nesbit avait recherché, en commun avec M. Morvis, si les gisements de phosphate de chaux observés en Angleterre ne se continuaient pas en France; il en avait découvert de nombreux. Ces recherches, continuées en 1854, furent l'objet d'un brevet exploité plus tard par de Molon et C. Thurneyssen.

MM. Meugy et Delanoue avaient également recherché des gisements de phosphate de chaux, et l'un d'eux, M. Delanoue, exposa, dans la collection des sous-sols de Valenciennes, un certain nombre d'échantillons à l'Exposition Universelle de 1855, où Baudement, professeur au Conservatoire des arts et métiers, les vit et apprécia dès lors cette découverte à sa juste valeur (2).

Toutefois la possibilité d'exploiter les gîtes reconnus était encore peu certaine, quand de Molon et C. Thurnesseyn présentèrent à l'Académie sur ce sujet un mémoire fort intéressant (3), d'où il résultait qu'il existe dans les départements de l'est de la France plusieurs gisements de coprolithes ou nodules susceptibles d'une facile exploitation.

Au lieu d'être accueillie avec la satisfaction qu'elle semblait mériter, cette communication rencontra une grande méfiance. Toutefois, si, dans les discussions *à priori* qui s'établirent au sein de plusieurs corps savants et dans la presse, les nodules trouvèrent des adversaires, ils eurent aussi des défenseurs. L'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, Élie de Beaumont, rédigeait un remarquable mémoire sur les gisements géologiques du phosphore, il soutint de l'autorité de sa science les premiers essais tentés avec les nodules, tandis qu'à la Société centrale d'agriculture, E. Baudement leur apportait le concours de son éloquence persuasive et de son fin bon sens.

En 1857, enfin, Bobierre et l'auteur de cet ouvrage adressaient à l'Académie diverses notes dans lesquelles ils montraient que les expériences de laboratoire permettaient de prévoir que les nodules pulvérisés auraient sans doute une influence très heureuse sur les cultures établies dans les terres récemment défrichées, riches en débris organiques; ce que la suite a pleinement justifié.

Quand il eut été démontré que ces phosphates minéraux ont, en effet, une haute valeur comme matière première de la fabrication des superphosphates ou même comme engrais, après une simple pulvérisation, leur recherche devint plus active et contrairement à ce qu'on avait cru d'abord, on reconnut que les phosphates sont très abondants à la surface du globe.

On trouva en France les remarquables gisements de phosphorite du Lot qui fournirent à une exploitation active pendant un certain nombre d'années. On découvrit des apatites en Norwège et au Canada; d'immenses gisements de nodules épars sur le sol en un très grand nombre de points de la Russie, plus récemment des sables phosphatés à Beauval dans la Somme, à Orville dans le Pas-de-Calais, en Tunisie, en Algérie, des gisements de nodules sont signalés et entreront prochainement en exploitation; enfin une source nouvelle de phosphates a été offerte par les traitements des fontes phosphorées, et le produit désigné sous le nom de *scories de déphosphoration* entre largement

(1) *Comptes rendus*, 1857, t. XLV, p. 1110.
(2) Tresca, *Visite à l'Exposition universelle*, 1855.
(3) *Comptes rendus*, 1856, t. XLIII, p. 1178.

aujourd'hui dans la consommation ; la quantité de phosphates exploitable est donc énorme, non seulement l'agriculture est actuellement abondamment pourvue, mais en outre la dissémination des phosphates étant reconnue, il est certain que de nouvelles recherches amèneront la découverte de gisements suffisants pour subvenir pendant de longues années aux besoins agricoles.

PHOSPHATES MINÉRAUX.

Les phosphates se présentent dans les gisements sous des formes très variées ; on distingue :

Les apatites ou phosphorites.

Les sables phosphatés.

Les nodules ou pseudocoprolithes.

§ 233. — Apatites et phosphorites.

Ces minéraux ne sont jamais disséminés sur le sol ; ils constituent des amas, des filons souvent d'une grande puissance.

Leur structure cristalline, leur compacité les rendent presque inattaquables aux réactions peu énergiques qui se produisent dans le sol : aussi les apatites ou phosphorites sont-elles employées à peu près exclusivement à la fabrication des superphosphates.

Les **apatites du Nassau** sont parfois cristallisées en prismes hexagonaux de couleur verdâtre ; leur densité est considérable, elle est voisine de 3.25 ; la proportion des phosphates qu'elle renferme est variable ; d'après les analyses de Vœlcker, elle oscille de 79 à 58 p. 100.

Les deux analyses suivantes indiquent leur composition.

Apatites du Nassau.

Phosphate de chaux	79.00	63.00
Carbonate de chaux	4.25	4.70
Oxyde de fer et alumine	4.00	7.20
Fluor	2.88	4.88
Silice	4.61	16.00

Les apatites de Logrosan en Estramadure (Espagne) sont connues depuis longtemps ; on les rencontre à l'état de filons dans les granits et dans les schistes ; elles sont exploitées à Costanza, près de Logrosan, et aussi dans le voisinage de Cacérès ; on exporte annuellement, de ces gisements, de 50 à 60,000 tonnes en Angleterre où l'apatite est employée à la fabrication des superphosphates.

On a découvert, dans l'Estramadure, d'autres gisements de phos-

phorites, remarquables par la lumière verdâtre qu'elles émettent quand on les jette sur des charbons ardents. Nous avons eu occasion d'examiner quelques-uns de ces produits, dans lesquels on rencontre de 68 à 80 p. 100 de phosphate de chaux. M. Vœlcker a analysé également des phosphorites d'Estramadure, il a trouvé de 72 à 79 p. 100 de phosphate. M. Ramon de Luna, a signalé des gisements de phosphates à Murcie ; ils ne présentent qu'une richesse moyenne de 45 p. 100 de phosphate de chaux.

On a trouvé aussi l'apatite en Portugal, dans la province d'Alemtejo. On a reconnu enfin, dans ce même pays, des rognons de phosphate de chaux auprès des sables bitumineux exploités à Granja, district de Leizia, paroisse de Monte-Real, à proximité de la mer.

Voici quelques dosages extraits de ces divers gisements.

	Phosphate de chaux pour 100.
Apatite de Seguridad	89.68
Phosphorite de Fortuna	78.16
— de Cofianza	80.77
— de Esmeralda	84.04
Moyennes des analyses de M. Petermann	66.47
— — de M. Vœlcker (riches)	74.00
— — — (pauvres)	56.00

Les échantillons les plus recherchés sont ceux qui ne renferment pas de carbonate de chaux, en effet, la partie de l'acide sulfurique employée à saturer la chaux du carbonate, n'exerce aucune action sur la solubilité de l'acide phosphorique, et peut être considérée comme perdue. Depuis quelques années, on fabrique, à Cacérès, des superphosphates *enrichis ;* par un premier traitement, à l'aide d'acide sulfurique, on extrait des phosphates à gangue siliceuse, de l'acide phosphorique, qui sert à l'attaque des phosphates mélangés de calcaire ; l'acide phosphorique libre s'empare de la chaux du carbonate, attaque en outre le phosphate de chaux tribasique, pour donner des phosphates acides et solubles.

Les **apatites de Norvège** proviennent du nord de la presqu'île scandinave ; on y trouve de 91 p. 100 de phosphate de chaux (Vœlcker) à 86 (Petermann).

Chaux phosphatée du Tarn-et-Garonne et du Lot. — Ces gisements, découverts par Poumarède il y a vingt-cinq ans, ont été décrits par M. Daubrée (1) ; ce sont des phosphorites à forme mamelonnée,

(1) *Comp. rend.*, t. LXXIII, p. 1028.

àcouches concentriques blanchâtres, mais parfois aussi tirant sur le jaune et le rouge; à l'origine de l'exploitation on a trouvé des lots renfermant de 70 à 83 centièmes de phosphate de chaux; maintenant, les parties les plus riches des gites ayant été enlevées, la teneur des parties extraites n'est plus guère que de 45 p. 100; sur quatre-vingts carrières ouvertes, vingt-neuf seulement ont été exploitées dans ces dernières années ; elles ont employé environ deux cent vingt ouvriers. L'ensemble des gisements du Lot et de l'Aveyron a produit, il y a quelques années, 30,000 tonnes valant plus de 900,000 francs. Ces phosphates présentent cette particularité de contenir toujours des iodures; on y rencontre souvent des fossiles, particulièrement les Paléothériums.

Phosphates du Gard. — Ils sont disséminés dans des poches, au milieu du calcaire, et y apparaissent sous forme de roches d'un blanc jaunâtre avec des bandes colorées; les phosphates de Tavel sont exploités par cent soixante-dix ouvriers; la teneur en phosphates varie de 84 à 60 p. 100 ; l'extraction dépasse 20,000 tonnes valant plus de 1 million de francs (1).

Phosphates de la Podolie (Russie). — On trouve en Russie des masses sphériques, ayant l'aspect de gros rognons de pyrites renfermant de 75 à 88 p. 100 de phosphate de chaux.

§ 234. — Sables phosphatés.

Ces sables phosphatés remplissent des poches à la partie supérieure de la craie à bélemnites, à la limite des départements du Pas-de-Calais et de la Somme, à Beauval et Hallencourt, près Doullens (Somme), et à Orville (Pas-de-Calais); la couche d'épaisseur, très variable, présente parfois une hauteur de 10 à 12 mètres, parfois beaucoup moins; elle est recouverte par une couche d'argile à silex.

On distingue trois variétés : l'une, renfermant de 80 à 85 p. 100 de phosphate de chaux, est presque blanche; la seconde, ne contenant plus que 60 à 70 p. 100 de phosphate, est mélangée d'une plus forte proportion d'oxyde de fer, qui la colore en jaune; quand, enfin, cet oxyde est en plus grande quantité, le sable devient rougeâtre, ne contient plus que 50 p. 100 de phosphate de chaux, et forme la troisième sorte.

(1) Plusieurs des renseignements précédents sont empruntés à la *Géologie agricole* de M. Risler.

Le sable desséché au feu est tamisé ; les parties agglutinées sont aisément broyées et tamisées à leur tour ; on évalue l'importance de ces gisements à 1,500,000 tonnes ; l'exploitation en enlève 200,000 tonnes tous les ans et bien qu'on ait découvert quelques nouveaux gisements à Templeux et à Cergicourt, il est probable que les phosphates riches seront assez vite épuisés.

La composition du phosphate riche découvert en 1886 à Beauval est représentée par les nombres suivants :

Acide phosphorique	36.77
Chaux	53.96
Acide carbonique	2.42
Fluor	1.90
Acide sulfurique	7.99
Péroxyde de fer	0.59
Alumine	0.38
Magnésie	0.19
Silice	0.45
Matières organiques	2.69

M. Nantier, directeur de la station agronomique de la Somme, a montré que si les sables riches de Beauval ne sont pas assez abondants pour fournir longtemps à une exploitation considérable, la craie dans laquelle les poches de sables calcaires sont contenues pouvait fournir aisément, des produits assez riches pour être exploités ; on procède à un broyage puis à un lavage et enfin à la décantation du carbonate de chaux terreux qui reste en suspension dans l'eau tandis que le sable phosphaté tombe au fond du liquide. M. Nantier a obtenu d'une craie de Beauval, renfermant seulement 23 p. 100 de phosphate de chaux à l'état naturel, un produit renfermant, après traitement, 46.18 de phosphate ; une craie d'Hardivilliers à 15.80 p. 100 de phosphate accuse, après traitement, 52.39 de phosphates, et même 60 p. 100 (1).

En calcinant les craies phosphatées, on obtient un mélange de chaux et de phosphate désigné sous le nom de thermophosphate.

Actuellement la craie de Beauval est très souvent *teintée* et vendue comme phosphate du grès vert.

§ 235. — Nodules ou pseudocoprolithes.

Ces phosphates se rencontrent à la limite du terrain crétacé et du terrain jurassique dans les grès verts ; on a reconnu le phosphate de chaux dans une zone partant des Ardennes pour aboutir à la

(1) *Ann. agr.*, t. XV, p. 408.

Basse-Normandie, décrivant, autour du bassin parisien, un grand arc de cercle s'étendant à travers la Meuse où existent de nombreuses exploitations, l'Aube, l'Yonne, le Cher où les phosphates sont également exploités, l'Indre, la Vienne, l'Indre-et-Loire, le Maine-et-Loire, la Sarthe et le Calvados.

Les nodules du grès vert sont d'une couleur variant du gris au vert sale ; ils deviennent parfois plus foncés, jusqu'à prendre une teinte noire.

Employé comme chimiste dans la première usine à phosphate de chaux qui ait été établie en France (1857), j'ai eu occasion d'analyser les nodules provenant de divers gisements; j'ai donné, pour leur composition, les nombres suivants :

	Islettes.	Ardennes.
Silice et argile	33.4	26.4
Acide phosphorique	20.8	21.3
Chaux	22.5	30.8
Magnésie	3.0	1.7
Oxyde de fer et alumine	3.8	10.0
Eau	1.6	1.0
Acide carbonique et matières non dosées.	15.5	5.8
	100.0	100.0

Les proportions relatives d'acide phosphorique et de chaux contenues dans les nodules des Islettes montrent que tout l'acide phosphorique ne s'y trouve pas à l'état de phosphate de chaux tribasique ; en effet, la chaux dosée est insuffisante pour saturer tout cet acide, et de plus, elle est en partie à l'état de carbonate, la poudre analysée faisant effervescence avec les acides. Cette remarque est importante parce qu'elle montre que, dans les nodules, une partie de l'acide phosphorique est combinée avec les sesquioxydes, ce qui permet d'expliquer certains faits observés dans leur emploi.

La composition précédente est analogue à celle des nodules, qui sont très abondants en Russie; M. Yermoloff, qui a consacré à leur étude un intéressant mémoire (1), donne, pour l'analyse des nodules de Spask, les nombres suivants :

Argile et sable	9.50	59.70
Acide phosphorique	27.48	12.63
— carbonique	3.95	1.98
— sulfurique	1.08	0.44
Chaux	42.00	18.54
Magnésie	0.40	»
Oxyde de fer et alumine	3.19	»

(1) *Journal d'agriculture pratique*, 1872, t. I, p. 660.

Plus récemment, M. Delattre a donné, des nodules français, des analyses très complètes (1).

	Chesnois Aubon-court.	Grand-pré. *Gaize.*	Gr.-pré. *Sables verts.*	Dom-basles.	Les Islettes.	Raré-court.
Eau à 100°.....	2.15	1.15	2.20	1.75	1.90	1.85
Matières volatiles....	3.75	4.90	4.55	4.80	5.05	4.70
Acide phosphorique..	16.69	23.46	19.57	18.23	18.74	17.58
— sulfurique	0.79	0.89	0.85	0.79	1 20	0.85
— carbonique....	4.70	5.65	5.80	4.50	4.80	4.20
Fluor.....	1.75	1.62	1.66	1.31	1.48	1.25
Chaux.....	26.68	40.48	31.81	27.66	29.23	27.04
Magnésie	»	0.50	0.36	»	0.39	»
Alumine.....	2.47	2.15	3.36	2.30	2.57	2.47
Oxyde de fer.....	3.77	2.87	4.39	5.85	5.46	4.95
Silice.....	37.16	15.40	24.80	32.06	28.74	35.18
	100.11	99.07	99.85	99.25	99.56	100.07
Équivalent de l'acide phosphorique en phosphate de chaux.	36.43	51.22	42.73	39.79	40.90	38.37

La moyenne des analyses de M. Delattre conduit à 41.86 de phosphate de chaux ; j'ai déduit des très nombreuses analyses que j'ai exécutées autrefois (2) 41.4 pour la richesse moyenne des nodules de l'Est; les nombres sont donc absolument d'accord. Les nodules anglais sont souvent plus riches. Le Dr Vœlcker a trouvé 52.52 et 57.12 pour des coprolithes de Suffolk et de Cambridge.

Nodules du sud de la Tunisie. — Des travaux de recherches entrepris il y a quelques années ont montré, dans les massifs des djebels Zimra, Sedja et Stah, à l'ouest de Gafsa, des couches importantes de phosphates, dont l'épaisseur exploitable varie de 8 à 12 mètres sur une étendue d'environ 50 kilomètres. Il résulte des analyses exécutées sur une série d'échantillons que ces nodules, très friables, renferment environ 60 centièmes de phosphate de chaux.

D'autres gisements, d'une importance moindre, ont été reconnus au sud de Gafsa, d'autres encore au sud du djebel Sahib. Ces gisements ne seront susceptibles d'exploitation que quand un chemin de fer les amènera aisément au port de Sfax (3).

Exploitation des nodules. — L'exploitation a souvent lieu à ciel

(1) *Étude sur les gisements de phosphates français* (1882).
(2) *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates* (*Thèse pour le doctorat*, 1859).
(3) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 361.

ouvert, la couche ne se trouvant pas, en général, à une grande profondeur; on pratique une tranchée de 2 ou 3 mètres de largeur atteignant la couche de nodules; la terre végétale est enlevée et mise à part; on rejette ensuite le sous-sol, et on extrait les nodules à la pioche et à la main. L'extraction faite, on remet en place le sous-sol, puis la terre végétale, et on exploite une tranche voisine; en général, le sol est amélioré; il a été défoncé et est devenu plus perméable.

Quand la profondeur dépasse 5 mètres, on exploite par de petits puits boisés qui descendent jusqu'à la couche, et on commence par faire deux galeries horizontales d'une dizaine de mètres de longueur, puis on exploite les couches parallèles aux galeries en rejetant derrière soi la terre, et en enlevant les nodules au panier; on est obligé de boiser les galeries.

Les nodules extraits sont lavés à la main ou mécaniquement, broyés dans des concasseurs, puis moulus.

Les nodules de phosphate de chaux lavés sur les lieux mêmes d'extraction, et soumis ensuite au broyage, constituent une poudre fine de couleur grisâtre, employée directement comme engrais, ou servant à la fabrication des superphosphates.

Deux centres importants d'exploitation se trouvent : l'un dans le Boulonnais, à la limite du terrain jurassique et du terrain crétacé; l'autre dans la Meuse et les Ardennes.

L'exploitation du Pas-de-Calais comprend les communes de Wissant, Fiennes, Samer, Hardinghen, etc.; il y a quelques années, l'exploitation a dépassé 20,000 tonnes représentant une valeur de 1,200,000 francs.

L'exploitation dans les Ardennes est au pied ouest de la chaîne de l'Argonne, Grand pré est une des localités où elle a été d'abord entreprise; en 1886, le département des Ardennes a fourni 9,000 tonnes pour 237,000 francs.

Dans le département de la Meuse, les gisements du grès vert sont plus considérables, j'ai analysé autrefois ceux qui provenaient des Islettes, de Lavoye, Froidos, Anderney, Mognéville, etc. (1). En 1886, la Meuse a extrait 67,000 tonnes d'une valeur de 1 million 900,000 francs.

L'exploitation de la Côte-d'Or a porté en 1886 sur 9,700 tonnes valant 651,000 francs; cette même année le Cher a produit 2,900 ton-

(1) *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, p. 44.

nes et l'Indre 3000 tonnes valant respectivement 159,000 et 165,000 francs (1).

On voit combien a été fructueuse la découverte des gisements de nodules existant en France ; leur mise en exploitation est due, ainsi qu'il a été dit, à de Molon, que des difficultés financières ont empêché d'en tirer profit, mais qui a joui jusqu'à la fin de la vie d'une indemnité du gouvernement, juste récompense du service qu'il avait rendu.

§ 236. — Scories de déphosphoration.

La transformation de la fonte en acier par le procédé Bessemer ne se produit qu'à la condition que le phosphore que renferment souvent les fontes soit éliminé ; on y réussit en garnissant de chaux les *convertisseurs*, sortes de grandes cornues dans lesquelles a lieu la transformation. Sous l'influence du vent qui traverse la fonte en fusion, le phosphore, le soufre, le silicium s'oxydent et les acides s'unissent à la chaux pour former une scorie.

Refroidie, celle-ci apparaît sous forme d'une masse noire lourde, bulbeuse, qui réduite en poudre est utilisée par la culture à cause de sa teneur considérable en acide phosphorique partiellement attaquable par les réactifs neutres.

Nous donnons comme exemple de la composition des scories, les analyses suivantes :

Scories provenant de la fonte d'Hayange, obtenues au Creusot.
Analyse de Millot (2).

Acide phosphorique	17.90
Chaux	38.50
Silice	10.35
Fer	12.60
Manganèse	0.30
	99.65

On a trouvé dans une scorie analysée dans une station agronomique de Westphalie :

(1) M. Peneau, directeur de la station agronomique de l'Indre, a analysé quelques-uns des phosphates de ce gisement, il trouve en moyenne 45 p. 100 de phosphate de chaux, chiffres analogues à ceux qui sont indiqués plus haut ; quelques nodules sont cependant beaucoup plus riches, leur teneur s'élevant jusqu'à 38,4 d'acide phosphorique (*Ann. agron.*, t. I, p. 452).

(2) *Ann. agron.*, t. VII, p. 148.

Silice	6.20	
Acide carbonique	1.72	
Soufre	0.56	
Acide phosphorique	19.33	
Fer	9.74	A l'état de protoxyde.
Manganèse	9.50	
Chaux	47.60	
Argile, sable	2.68	
Alcalis, magnésie	2.57	

On voit que les scories renferment environ le cinquième de leur poids d'acide phosphorique ; toutefois on conçoit facilement que la teneur soit très variable et qu'il convienne de n'acheter ces engrais que sur analyse.

Leur valeur ne varie pas seulement avec leur richesse en acide phosphorique, mais aussi avec la facilité qu'elles présentent au délitement. Les scories très chargées de chaux et pauvres en acide phosphorique se délitent plus aisément que celles qui ont une teneur plus élevée en phosphates. Ces dernières ne peuvent être employées qu'après avoir été réduites en poudre fine ; cette pulvérisation se fait dans des appareils fermés, la poussière étant dangereuse à respirer. On réussit actuellement à avoir des poudres passant dans des tamis à mailles de 1/4 de millimètre, et dans ces conditions les scories deviennent un engrais très efficace, particulièrement dans les terrains pauvres en chaux où elles agissent non seulement par leur acide phosphorique, mais aussi par leur alcali.

La consommation des scories de déphosphoration s'est beaucoup accrue dans ces dernières années, elle dépasse actuellement 10,000 tonnes.

PHOSPHATES D'ORIGINE ANIMALE.

Les phosphates d'origine animale proviennent de deux sources différentes : des os ou des guanos, nous les examinerons séparément.

§ 237. — Os. — Noir animal.

Les usines qui travaillent les os laissent des résidus, des fragments qui peuvent être utilisés directement comme engrais à l'état naturel ; ils renferment dans ce cas environ 46 centièmes de phosphate de chaux tribasique correspondant à 21 d'acide phosphorique. Plus souvent, les os sont soumis à divers traitements :

quand ils ont perdu par l'action de l'eau bouillante une partie de la matière organique qu'ils renferment normalement, ils se sont enrichis en phosphate de chaux, ils en contiennent 66 centièmes, correspondant à 30.6 d'acide phosphorique. Les os, ainsi débarrassés de leur matière grasse, renferment encore leur matière azotée, l'osséine, de telle sorte que les os simplement dégraissés dosent de 4 à 5 centièmes d'azote.

On désigne sous le nom de cendres d'os les os calcinés à l'air, ils contiennent dans ce cas 84.3 pour 100 de phosphate de chaux correspondant à 39.0 d'acide phosphorique. Les os calcinés et pulvérisés sont parfois employés directement sur le sol, fréquemment aussi transformés en superphosphates. Les cultivateurs des pays granitiques pauvres en calcaire utilisent la plupart du temps les os sous forme de noir animal, c'est-à-dire après calcination des os en vase clos. Dans ces conditions la matière organique se détruit, laissant comme résidu un charbon doué de remarquables propriétés décolorantes, mises à profit dans les sucreries pour retenir la matière colorante des sirops. Quand le noir animal a servi plusieurs fois à cet usage, il perd peu à peu ses propriétés décolorantes, mais on peut le revivifier en le calcinant ; après plusieurs calcinations, il devient très fin, et ne peut plus être utilisé dans les sucreries, il bouche les filtres, c'est alors qu'il passe chez les marchands d'engrais. Le noir neuf renferme de 72 à 75 pour 100 de phosphate de chaux correspondant à 33 ou 34.7 d'acide phosphorique, quand le noir a servi dans les raffineries ou les sucreries, il s'est chargé de matières étrangères et son titre en phosphate de chaux s'abaisse à 60, 50 et 40 centièmes.

Il n'est pas de substances sur lesquelles se soient pratiquées des fraudes plus nombreuses que le noir animal, c'est un engrais qu'il ne faut jamais acheter que sur analyse. (Voyez le chapitre XII, *Analyse des engrais.*)

§ 238. — Guanos phosphatés.

Nous avons vu dans le chapitre VI de cette troisième partie que les guanos perdent leurs sels ammoniacaux quands ils ont été exposés à l'action de l'eau, soit parce qu'ils ont été déposés dans des localités où la pluie est fréquente, soit parce que les îlots sur lesquels séjournent les oiseaux ne sont pas assez élevés pour être à l'abri des lames qui déferlent par les gros temps ; ces guanos ne renfer-

ment plus que des phosphates et peuvent être employés directement ou servir à la fabrication des superphosphates. Nous avons donné plus haut (page 613) la composition de ces guanos phosphatés et nous n'avons pas à y revenir.

SUPERPHOSPHATES.

§ 239. — Constitution des superphosphates.

L'acide phosphorique est un acide susceptible de former avec les bases trois séries de sels, renfermant un, deux ou trois atomes métalliques. L'acide contenu dans les phosphates naturels d'origine animale ou minérale est l'acide tribasique. A l'exception des phosphates alcalins renfermant de la potasse, de la soude ou de l'ammoniaque, les phosphates sont insolubles quand les trois atomes d'hydrogène de l'acide sont remplacés par trois atomes de métal autre qu'un métal alcalin, de calcium par exemple, ainsi que cela arrive dans tous les produits que nous venons d'énumérer, mais il n'en est plus ainsi quand une partie seulement de l'hydrogène est remplacée par du calcium.

Ainsi le phosphate de calcium $P^2Ca^3O^8$ est complètement insoluble, mais au contraire le phosphate $P^2CaH^4O^8$, dans lequel quatre atomes d'hydrogène remplacent deux atomes doubles de calcium, est soluble dans l'eau. La fabrication des superphosphates a précisément pour but d'obtenir ce phosphate acide, et l'on désigne sous le nom de superphosphate le mélange de phosphate à réaction acide soluble dans l'eau, de phosphate non attaqué et enfin de sulfate de calcium provenant de la réaction de l'acide sulfurique ajouté au phosphate naturel pour lui enlever une partie du métal qu'il renfermait. Presque toujours, en outre les superphosphates renferment de l'acide phosphorique libre $P^2H^6O^8$.

§ 240. — Fabrication des superphosphates.

La fabrication des superphosphates ne présente d'autre difficulté que la détermination exacte de la quantité d'acide à employer pour attaquer les phosphates naturels en formant une matière sèche, non pâteuse et par suite facile à répandre; or, en employant un excès d'acide sulfurique par rapport aux phosphates pulvérulents on obtient une attaque très complète, mais on a un produit très

chargé d'acide phosphorique libre, hygrométrique, qui ne sèche pas, et d'autre part, si on restreint la dose d'acide sulfurique une partie des phosphates reste inattaquée. Très habituellement, pour conduire régulièrement cette fabrication, on procède à l'analyse complète du phosphate, on détermine ainsi la chaux combinée à l'acide carbonique, au fluor, et à l'acide phosphorique, et on calcule la quantité d'acide sulfurique à employer pour se combiner à la chaux qui dans le produit à attaquer est unie à l'acide carbonique et au fluor, et en outre pour enlever à l'acide phosphorique deux des équivalents de chaux sur les trois qu'il renferme; on a ainsi la quantité théorique à employer, on y ajoute encore une quantité telle qu'elle sature la moitié de l'équivalent de chaux que devrait conserver l'acide phosphorique, pour produire le phosphate acide soluble, qui s'écrit en équivalent $PO^5\begin{cases}CaO\\HO\\HO\end{cases}$ et en atome $P^2CaH^4O^8$ de telle sorte que le mélange renferme toujours une certaine quantité d'acide phosphorique libre, l'action de l'acide sulfurique se portant sur une partie du phosphate naturel et le décomposant complètement, tandis qu'une autre partie reste non attaquée. Quand l'acide phosphorique libre n'est pas trop abondant, le plâtre produit dans la réaction *fait prise* et le produit est facile à répandre.

D'après M. Kienlen, on peut déterminer la quantité d'acide sulfurique à employer, quand on ne connait pas la composition du phosphate à attaquer, en opérant comme suit : on introduit 20 grammes de la poudre fine du phosphate dans une fiole jaugée de 1 litre, on y ajoute un excès d'acide sulfurique préparé avec 500 grammes d'acide monohydraté par litre, par exemple 40 centimètres cubes renfermant par conséquent 20 grammes d'acide, on chauffe au bain-marie deux heures, puis on complète à un litre, on agite. On prélève 50 centimètres cubes renfermant 1 gramme de phosphate et 1 gramme d'acide et on titre l'excès d'acide avec une solution normale de potasse, jusqu'à ce que le trouble qui se forme dans la liqueur et qui est dû à la précipitation du phosphate basique ne se redissolve plus par l'agitation.

L'acide sulfurique en excès dans la liqueur a été neutralisé par la dissolution alcaline et il ne reste plus que l'acidité due au phosphate monocalcique en dissolution. Connaissant la quantité d'acide neutralisé, on le retranche de la quantité primitive 1 gramme et on a la proportion d'acide monohydraté nécessaire à l'attaque de 1 gramme de phosphate. On la ramène à 100 grammes et à la quantité correspondante d'acide à 53 degrés.

La fabrication des superphosphates consiste essentiellement dans le mélange des phosphates avec l'acide sulfurique; le mélange s'échauffe beaucoup, il se dégage des vapeurs irritantes d'acide fluorhydrique et d'acide sulfurique de telle sorte qu'il faut opérer en plein air; dans les grandes usines où l'on em-

ploie des malaxeurs fermés, ceux-ci sont reliés aux cheminées de façon à lancer les vapeurs à une assez grande hauteur.

Les malaxeurs sont d'ordinaire des cylindres doublés de plomb dans lesquels on fait d'une part arriver la poudre de phosphates, de l'autre l'acide sulfurique, on brasse le mélange à l'aide d'un arbre armé de palettes, monté dans l'axe même du cylindre malaxeur, la masse d'abord pâteuse est facile à remuer, on l'évacue quand les deux matières sont bien mélangées, elles durcissent en quelques jours (1).

On conçoit que les superphosphates étant formés par l'adjonction de l'acide sulfurique aux phosphates naturels ne présentent qu'une richesse fort diminuée, et que s'ils proviennent de phosphates naturellement pauvres, ils finissent par ne plus contenir que de 10 à 15 p. 100 d'acide phosphorique; la marchandise se trouve alors grevée de frais de transports considérables, pour éviter cet inconvénient et ne pas rejeter cependant de la fabrication les phosphates pauvres, on cherche d'abord à enrichir les phosphates à traiter.

Pour les craies phosphatées notamment qui ne renferment guère que 10 à 20 p. 100 de phosphate et qui exigeraient une quantité énorme d'acide sulfurique pour saturer le carbonate de chaux qui forme la plus grande partie de la masse, on procède d'abord à une légère calcination, de façon à décomposer le carbonate de chaux, puis on lave dans des cribles à secousse semblables à ceux qu'on emploie pour enrichir les minerais, l'eau entraîne la chaux tandis que les phosphates plus lourds restent sur les appareils et peuvent ensuite être avantageusement traités.

On prépare en outre des phosphates riches en commençant par dissoudre l'acide phosphorique des phosphates à l'aide de l'acide chlorhydrique, on décante, on ajoute aux liquides de l'acide sulfurique pour précipiter toute la chaux, on passe au filtre presse en bois, on concentre les liquides et on recueille l'acide chlorhydrique qui distille, l'acide phosphorique ainsi obtenu est mélangé à des phosphates d'origine animale, à des noirs, des guanos phosphatés, des os dégélatinés, ou encore des phosphates minéraux faciles à attaquer, on obtient ainsi des produits renfermant de 40 à 44 d'acide phosphorique soluble et assimilable.

§ 241. — Réactions qui se produisent après la fabrication des superphosphates. — Rétrogradation.

Quand on traite les phosphates par l'acide sulfurique employé en proportions convenables, calculées par les méthodes que nous avons décrites, on reconnaît qu'une partie du phosphate est complètement décomposée, avec formation de sulfate de chaux et d'acide phosphorique libre (2), tandis qu'une autre portion de phosphate reste com-

(1) Voir dans le *Dictionnaire de l'agriculture* de Barral et Saguier l'article *Phosphates*, écrit par Millot peu de temps avant sa mort prématurée; mon regretté collègue de l'École de Grignon y a donné un résumé très complet des importants travaux qu'il a exécutés sur les phosphates, et en outre des détails intéressants sur leur fabrication.

(2) Dehérain, *Recherches sur l'emploi agricole des phosphates*, 1859.

plètement inattaquée ; un superphosphate qui a été régulièrement fabriqué, qui après quelques jours est dur, facile à émietter sans former une pâte qu'on ne pourrait pas répandre régulièrement, est donc, ainsi qu'il a été dit déjà, un mélange de sulfate de chaux, de phosphate non attaqué, et d'acide phosphorique libre, le tout emprisonné dans le sulfate de chaux qui a fait prise rapidement à la fin de la réaction. Ce mélange n'est pas dans un équilibre définitif et on conçoit que l'acide phosphorique, mis en liberté, agisse peu à peu sur le phosphate qui n'a pas été attaqué lors de la fabrication, et porte son action sur les bases qu'il renferme, soit sur la chaux du phosphate tricalcique, soit sur l'alumine ou l'oxyde de fer que ces phosphates renferment habituellement, et que, suivant la nature de la base attaquée, la proportion d'acide phosphorique soluble dans l'eau ne soit plus dans un produit fabriqué depuis quelque temps, celle qu'on a déterminée immédiatement après la fabrication.

Deux cas, en effet, peuvent se présenter, suivant qu'on a employé à la fabrication : une apatite ne renfermant ni oxyde de fer ni alumine, ou qu'au contraire, la matière première des superphosphates est la poudre des nodules, qui contient une notable proportion de ces deux bases.

Si on a traité une matière ne renfermant que de la silice et du phosphate de chaux tricalcique, l'acide phosphorique mis en liberté portera son action sur le phosphate non attaqué, et en amènera une partie à l'état de phosphate soluble, c'est ce qu'a trouvé Millot en attaquant par des doses diverses d'acide sulfurique à 53° une apatite de Logrosan ; elle renfermait :

Acide phosphorique	36.25
Chaux	51.00
Magnésie	0.14
Silice	8.70
Acide carbonique et fluor	3.91
	100.00

On a obtenu les proportions suivantes d'acide phosphorique soluble et insoluble :

Sur 100 de phosphate on a employé :

Sur 100 d'acide phosphorique total :	Acide à 53°. 80 p. 100. Eau 20.	Acide à 53°. 90 p. 100. Eau 10.	Acide à 53°. 100. Eau 0.
Deux jours après la fabrication :			
Acide phosphorique soluble...	63.40	76.89	64.04
— insoluble.	36.60	23.11	35.96

Après un mois :			
Acide phosphorique soluble...	77.80	87.07	89.00
— insoluble.	22.20	12.93	14.00
Après trois mois :			
Acide phosphorique soluble...	79.50	90.00	92.00
— insoluble.	20.50	10.00	8.00

Avec le temps la solubilité augmente.

Il en est tout autrement quand on agit sur la poudre des nodules, qui, nous l'avons vu, renferme toujours de l'oxyde de fer ; l'échantillon attaqué par Millot renfermait sur 100 parties :

Acide phosphorique	18.25
Chaux	28.00
Magnésie	1.12
Silice et alumine	37.83
Acide carbonique	8.00
Fer total	3.30
Eau et matière organique	3.50
	100.00

On a attaqué 100 parties par 80 p. 100 d'acide sulfurique à 53° et 20 d'eau, on a obtenu :

	2e jour.	Après huit jours.	Après deux mois.	Après deux ans et demi.
Acide phosphorique soluble....	7.18	9.45	3.50	1.10
— insoluble..	2.68	0.40	5.75	8.36
Total.....	9.86	9.85	9.25	9.46
Chaux insoluble.....	3.51	»	1.00	0.66

L'acide phosphorique soluble a donc considérablement diminué, il s'est engagé peu à peu en combinaison avec les oxydes de fer ou d'alumine, il a, comme on dit, *rétrogradé*.

Un superphosphate conservé en magasin pendant quelque temps renferme donc de l'acide phosphorique à trois états différents.

1° De l'acide phosphorique soluble dans l'eau, soit libre, soit combiné à la chaux, de façon à former le phosphate acide $P^2CaH^4O^8$.

2° De l'acide phosphorique uni à de l'oxyde de fer ou à de l'alumine, mais ayant été dissous d'abord et ayant contracté après coup cette union avec les sesquioxydes.

3° De l'acide phosphorique uni à la chaux et constituant le phosphate de chaux tribasique primitif qui a échappé à l'action de l'acide sulfurique.

L'expérience enseigne que dans nombre de cas les superphos-

phates sont beaucoup plus efficaces que les phosphates naturels ; nous en donnerons plus loin de nombreux exemples, et on peut considérer la chose comme évidente a priori, car il est visible que les cultivateurs ne consentent à payer les superphosphates à un prix plus élevé que les phosphates naturels, que parce que, malgré le prix plus élevé qu'ils en donnent, ils en tirent plus de profit.

Cherchons donc à nous figurer ce que devient dans le sol un superphosphate et puisque ce qui caractérise cet engrais, ce qui le distingue des phosphates naturels, c'est précisément la présence de l'acide phosphorique soluble, concentrons notre attention sur lui. Si on l'introduit dans une terre siliceuse où il ne trouve pas à se saturer, il exerce une influence funeste, la récolte avorte. Bobierre, qui a étudié l'emploi des superphosphates sur les terres schisteuses dépourvues de calcaires de la Bretagne, a donné des preuves nombreuses de leur influence fâcheuse ; ce n'est donc pas à l'état libre que l'acide phosphorique est utilisé, mais bien à l'état de combinaison, sa causticité détruirait les radicelles ; l'acide phosphorique introduit dans le sol y est en effet bientôt saturé par le carbonate de chaux, par l'alumine ou l'oxyde de fer des argiles. Nous avons résumé, dans le chapitre V de la seconde partie : *Propriétés absorbantes des terres arables*, les travaux exécutés sur ce sujet par Vœlcker et nous y renvoyons le lecteur (page 439).

L'acide phosphorique soluble, introduit dans la terre arable, ne persiste donc pas à cet état de solubilité, et à première vue on ne comprend pas quel avantage on rencontre à dépenser de l'acide sulfurique pour amener à l'état soluble l'acide phosphorique, si bientôt après avoir été introduit dans le sol cet acide phosphorique reprend sa forme insoluble primitive ; pour comprendre cependant l'utilité de cette opération il suffit de saturer par de l'eau de chaux une dissolution d'acide phosphorique : on obtient un précipité léger, gélatineux, insoluble il est vrai, mais absolument différent de la matière dure, lourde, compacte qui constitue les phosphates minéraux ou même le phosphate de chaux de provenance animale.

Ce phosphate précipité est facilement attaquable par l'acide carbonique, encore davantage par les acides organiques comme l'acide acétique, attaquable encore par les carbonates alcalins : toutes ces substances ramènent l'acide phosphorique contenu dans le phosphate précipité à l'état soluble, tandis qu'elles n'agissent que très faiblement sur les phosphates naturels.

C'est parce qu'en se saturant dans le sol l'acide phosphorique

soluble garde une forme très attaquable, qui lui permet de reprendre très aisément l'état soluble, qu'il est précieux; si après avoir préparé ce phosphate précipité gélatineux, on l'agglutine par l'action du feu, il devient moins attaquable et du même coup, beaucoup moins efficace.

En résumé c'est bien moins la nature de la combinaison dans laquelle il est engagé que la forme même de cette combinaison qui rend l'acide phosphorique assimilable ou non, et on conçoit par suite que l'acide phosphorique soluble ait plus de valeur que l'acide phosphorique non attaqué, et enfin que l'acide phosphorique rétrogradé, lui-même soit, malgré son insolubilité dans l'eau coté sur le marché des engrais à un prix plus élevé que l'acide appartenant aux phosphates non attaqués, toutefois les considérations précédentes doivent être appuyées par des expériences directes sur le terrain, nous les rappelons dans le paragraphe suivant.

§ 242. — Valeur agricole de l'acide phosphorique rétrogradé.

Les chimistes agronomes sont arrivés à distinguer les trois formes sous lesquelles se rencontre dans les superphosphates l'acide phosphorique en épuisant l'échantillon d'abord par l'eau qui enlève l'acide phosphorique soluble, ensuite par une digestion avec le citrate d'ammoniaque ammoniacal qui dissout l'acide phosphorique rétrogradé, enfin par l'acide chlorhydrique ou l'acide azotique agissant à l'ébullition qui attaque les phosphates, ayant pendant la fabrication résisté à l'acide sulfurique (1).

Cette distinction étant faite, on conçoit que les expériences agricoles puissent être très concluantes puisqu'on saura dans quelle variété d'acide phosphorique les plantes devront chercher leurs aliments.

M. Petermann qui a étudié cette question avec beaucoup de soins (2), rapporte d'abord une expérience de M. le baron Dael von Kœth, exécutée près de Mayence, montrant que quand on ajoute à une fumure azotée suffisante des quantités égales d'acide phosphorique soluble et d'acide phosphorique rétrogradé, on obtient d'une culture d'orge, le même poids de grain et dans le second cas une quantité de paille un peu plus forte que dans le premier.

(1) Voir pour le détail des opérations, à la fin du volume le chapitre XI : *Analyse des engrais.*

(2) *Ann. agron.*, t. VI, p. 5.

Dans une autre expérience, exécutée également sur l'orge, M. Petermann a obtenu lui-même 20^{gr},66 de grains sans fumure phosphatée, 25^{gr},32 avec l'acide phosphorique soluble dans l'eau, 23^{gr},98 avec l'acide phosphorique rétrogradé, 27^{gr},31 avec l'acide phosphorique précipité et seulement 21^{gr},83 avec l'acide phosphorique précipité mais chauffé, dans ce dernier cas l'acide phosphorique était devenu insoluble dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal.

Une expérience portant sur des pois a donné :

	Grains. gr.
Sans fumure	46.24
Acide phosphorique soluble dans l'eau	50.48
— — rétrogradé	49.58
Phosphate précipité	54.20
— — chauffé l'acide phosphorique étant devenu insoluble dans le citrate d'ammoniaque ...	47.11

L'acide phosphorique rétrogradé a conduit dans ces expériences à des résultats analogues à ceux qu'on a obtenus de l'acide phosphorique soluble, mais inférieur à ceux que fournit l'acide phosphorique précipité.

On désigne sous ce nom l'acide qui après avoir été dissous dans l'eau est précipité de nouveau à l'état insoluble soit par de l'eau de chaux, ce qui donne un phosphate tribasique, soit par du carbonate de chaux, qui fournit surtout un phosphate bicalcique; ces substances gélatineuses ou à structure cristalline (1) sont non seulement solubles dans le citrate d'ammoniaque, mais en outre attaquables également par les acides faibles; tandis que l'acide phosphorique rétrogradé uni à des sesquioxydes est insoluble dans l'acide acétique. On voit cependant qu'aussitôt que ces phosphates perdent leur état gélatineux, par l'action du feu, ils perdent en même temps une partie de leur efficacité; ce qui confirme ce que nous avons dit plus haut : l'état de la combinaison dans laquelle est engagé l'acide phosphorique a plus d'influence sur son assimilabilité que la nature même de cette combinaison.

Les considérations précédentes permettent de concevoir que les fabricants d'engrais, ne vendent pas leurs produits, en distinguant l'acide phosphorique qu'ils renferment, sous les noms d'acide

(1) *Comptes rendus*, t. LXVI, p. 1327, E. Pelouze et Dusart.

soluble, rétrogradé, et insoluble, mais réunissent les deux premières formes d'acide phosphorique, qui sont désignées dans le langage commercial sous le nom : *d'acide phosphorique assimilable.*

Cette désignation n'indique pas autre chose que la solubilité de cet acide phosphorique dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal (1), elle ne doit pas faire d'illusion et porter les cultivateurs à considérer comme non assimilable et par suite sans valeur les phosphates ne renfermant pas d'acide phosphorique dit assimilable, nous montrerons plus loin que l'acide phosphorique insoluble dans les réactifs habituellement employés dans les laboratoires exerce cependant dans certains sols, une action marquée.

Toutefois l'acide phosphorique soluble dans le citrate ayant plus de valeur commerciale que celui qui ne s'y dissout pas, on a cherché à l'obtenir comme produit secondaire dans diverses fabrications, ou même à le préparer directement en partant de différents phosphates; la matière désignée sous le nom de phosphate précipité dont il nous reste à indiquer brièvement le mode de fabrication contient une proportion notable d'acide assimilable.

§ 243. — Phosphate précipité.

Quand on a dissous le phosphate de chaux, des os, des nodules, des phosphorites dans un acide, puis qu'on sature le liquide par de la chaux ou du carbonate de chaux, on obtient un précipité gélatineux formé par du phosphate tricalcique $P^2O^8Ca^3$ ou un précipité cristallin de phosphate bicalcique $P^2Ca^2H^2O^8$, ce dernier est soluble dans le citrate et c'est lui qu'on cherche à obtenir.

On sait qu'on prépare la gélatine en dissolvant dans l'acide chlorhydrique étendu, les phosphates des os; c'est dans cette dissolution qu'on ajoute le sel de chaux en proportions convenables pour obtenir le produit cherché. Les phosphates précipités ne proviennent pas exclusivement des résidus de la fabrication de la gélatine, ils sont souvent préparés directement : MM. Henisch et Schrœder (2) traitent des phosphates minéraux d'abord par de l'acide sulfurique employé en quantité suffisante pour saturer le carbonate de chaux qui y est souvent contenu, puis soumettent les

(1) Ce réactif est employé pour doser dans les superphosphates, l'acide rétrogradé; nous donnons au chapitre XIII, *Analyse des engrais*, le détail des opérations à exécuter pour procéder à ces dosages.

(2) *Ann. agron.*, t. XIII, p. 184.

phosphates, ainsi débarrassés de carbonates, à l'action de l'acide sulfureux qui ne dissout que le phosphate de chaux. Le liquide clair est décanté, puis chauffé ; le phosphate de chaux se précipite et l'acide sulfureux se dégage, on le recueille dans l'eau pour le faire servir à une nouvelle opération.

Ces phosphates présentent la même solubilité dans le citrate, que les superphosphates et peuvent être employés avec grand avantage sur les terres qui ne renfermant pas de calcaire ne pourraient pas sans inconvénients recevoir de superphosphates.

EMPLOI DES ENGRAIS PHOSPHATÉS.

Nous avons insisté dans la seconde partie de cet ouvrage (p. 413) sur les quantités d'acide phosphorique contenu dans la terre arable et en outre sur les différentes formes qu'il y présentait, il faut maintenant profiter de ces connaissances pour préciser les conditions dans lesquelles il convient d'employer les engrais phosphatés naturels ou à l'état de superphosphates.

Nous avons non seulement indiqué (§ 128 et 129) qu'on trouve dans le sol des proportions très variables d'acide phosphorique total, mais en outre que cet acide s'y rencontrait sous deux formes très différentes : engagé dans des combinaisons très stables, ne cédant qu'à l'action des acides minéraux agissant à l'ébullition, ou au contraire uni à des protoxydes et se dissolvant dans les acides faibles comme l'acide carbonique ou l'acide acétique, ou combiné à des sesquioxydes mais se dissolvant dans le citrate d'ammoniaque ammoniacal. — Ces connaissances étant acquises nous pouvons essayer de prévoir l'action, qu'exerceront sur différents sols, les engrais phosphatés.

Nous classerons d'abord les sols en deux groupes : terres sur lesquelles les engrais phosphatés ont chance de réussite ; terres au contraire sur lesquelles ils sont généralement inutiles.

Nous discuterons ensuite dans quels cas, il convient sur les terres du premier groupe d'employer des superphosphates, dans quels cas au contraire on peut se borner à répandre des phosphates naturels.

§ 244. — Terres ou la réussite de l'acide phosphorique est très probable.

Je suis porté à placer dans cette classe :

1° Toutes les terres renfermant moins de 1 millième d'acide phosphorique total ;

2° Celles qui renfermant plus d'un millième d'acide phosphorique total, ne contiennent que des proportions inférieures à 0,0002 d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique ;

3° Celles qui ne contiennent pas 500 kilogr. à l'hectare d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique.

Voici sur quels exemples sont basées les règles précédentes :

Faible teneur en acide phosphorique total. — On sait quelle efficacité présentent les phosphates sur les landes défrichées de Bretagne, les cultivateurs bretons employaient de grandes quantités de noir animal, quand cet engrais était pour ainsi dire inconnu dans le reste de la France, or il résulte des analyses de M. Roussille que le sol du champ d'expériences de Grand-Jouan, sur lequel on n'obtenait il y a une trentaine d'années, aucune récolte sans addition de phosphates ne renfermait au kilog. que $0^{gr},05$ d'acide phosphorique ; une terre successivement amendée avec des phosphates fossiles et des superphosphates et renfermant actuellement $0^{gr},2$ d'acide phosphorique total, ne donne encore de récoltes qu'avec une addition d'engrais phosphatés.

M. Carré, professeur départemental de la Haute-Garonne, élève considérablement la récolte du blé en employant des superphosphates à la dose de 500 kilogs à l'hectare, sur des sols renfermant de $0^{gr},4$ à $0^{gr},7$ d'acide phosphorique au kilog.

M. Garola, professeur départemental d'Eure-et-Loire, dirigeant les expériences de M. Gos, fait passer la récolte de blé de 19^{qtm}, 75 à 35 quintaux métriques en fournissant des superphosphates à un champ ne renfermant que 0,58 par kilog. d'acide phosphorique total.

A Blaringhem, sur les terres de feu M. E. Porion, où ont été établies des cultures expérimentales pendant les quatre années 1885-89, on a dosé au kilogr. : $0^{gr},75$ d'acide phosphorique total et $0^{gr},1$ d'acide soluble dans l'acide acétique, or malgré de très copieuses fumures de fumier de ferme, les superphosphates y ont toujours donné de grands surcroîts de récoltes.

Si on admet en s'appuyant sur les exemples précédents qu'une terre qui renferme moins de 1 gramme d'acide phosphorique total par kilogr. a de grandes chances de bénéficier de l'emploi des phosphates, ou sera frappé du nombre de terre cultivées qui sont au-dessous de cette limite, dans les contrées où l'on cultive généralement sans apport régulier de fumier.

Nous avons déjà insisté, page 506, sur les faibles teneurs en acide phosphorique constatées sur un grand nombre de terres de l'Algérie et de la Tunisie, et il ne paraît guère douteux que les phosphates y exerceraient une influence remarquable (1).

Faible teneur en acide phosphorique assimilable. — Les terres de Wardrecques (Pas-de-Calais), qui ont porté également les cultures expérimentales dont M. Porion et moi avons publié les résultats, renferment $1^{gr},35$ d'acide phosphorique total par kilogr. mais seulement $0^{gr},2$ d'acide phosphorique assimilable, or les superphosphates y marquent encore dans la culture des betteraves, mais n'exercent plus guère d'influence sensible sur le blé ; la terre est profonde et nous sommes là à la limite de l'emploi avantageux des engrais phosphatés.

MM. Corenwinder et Contamine ont analysé, il y a quelques années des terres de Houdain (Pas-de-Calais), ils y ont trouvé $1^{gr},01$, $1^{gr},10$, $1^{gr},39$ et $1^{gr},52$ d'acide phosphorique par kilogramme ; or sur ces terres les betteraves ont rendu 35.000 kilos de racines quand elles ont reçu du nitrate de soude seul et 42.000 kilos quand à l'engrais azoté est venu s'ajouter du superphosphate. Il est vraisemblable que ces sols ne renferment qu'une quantité insuffisante d'acide phosphorique assimilable.

L'exemple cité plus haut des parcelles du champ d'expériences de Grignon épuisées par quinze ans de culture sans engrais, et renfermant encore $1^{gr},02$ d'acide phosphorique total et seulement des traces d'acide assimilable, montre combien le dosage d'acide phosphorique total est insuffisant pour permettre de prévoir l'influence des superphosphates.

Faible teneur en acide phosphorique due au peu d'épaisseur de la terre arable. — M. Nantier, directeur de la station agronomique de la Somme, établit un champ d'expériences aux environs

(1) *Ann. agr.*, t. XI, p. 82. Nous avons indiqué, cependant que des analyses récentes exécutées sur des sols des environs de Tunis par M. Leck, directeur de la station agronomique, ont montré que la pauvreté des terres de la Régence était moins générale qu'on ne le supposait.

d'Amiens, l'analyse lui enseigne qu'un kilogramme de la terre qu'il va cultiver renferme 2gr,5 d'acide phosphorique total au kilogramme et 0gr,25 d'acide soluble dans l'acide acétique ; cette richesse semblait rendre inutile l'emploi des superphosphates, on les emploie cependant, et on fait monter la récolte des betteraves de 28.500 kilogrammes à l'hectare à 45.000.

Or cette terre ne présente guère qu'une épaisseur de 15 à 20 centimètres, l'hectare ne pese donc pas au delà de 2.000 tonnes, la quantité d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique est d'environ 500 kilos, quantité à peine suffisante pour alimenter à elle seule de bonnes récoltes. Cet exemple est très important, il montre qu'un chimiste consulté sur l'opportunité de l'acquisition des superphosphates, doit non seulement procéder avec soin à l'analyse de la terre qui lui a été adressée, y doser l'acide phosphorique total, l'acide soluble dans l'acide acétique ou le citrate, mais en outre s'enquérir de l'épaisseur de la couche active, puisque si cette couche est mince, l'emploi des engrais phosphatés pourra être efficace, malgré la richesse de l'échantillon analysé.

§ 245. — Terres sur lesquelles l'emploi de l'acide phosphorique est généralement inutile.

Je rangerai dans ce groupe les sols qui donnent à l'analyse plus de 1 gramme d'acide phosphorique au kilog., de 0gr,2 à 0gr,3 d'acide phosphorique assimilable, et une épaisseur telle que l'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique, représente environ 1.000 kilos à l'hectare.

Ces conditions sont en effet, remplies au champ d'expériences de Grignon où les phosphates n'exercent aucune action utile.

Nous en avons donné de nombreux exemples page 416, plus récemment, dans d'autres parties du domaine, MM. Berthault et Boiret ont essayé l'action des superphosphates sur la culture des pommes de terre sans en tirer aucun bénéfice (1).

Nous avons vu (page 431) que les terres de la Limagne d'Auvergne exploitées par la sucrerie de Bourdon renferment une quantité considérable d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique, les superphosphates n'exercent aucune influence sur le développement des récoltes.

(1) *Ann. agron.*, t. XVII, p. 480.

Modifications qui surviennent dans l'état de l'acide phosphorique du sol. — L'exemple fourni page 420 des changements survenus dans le champ d'expériences de Grignon est de nature à montrer que l'acide phosphorique assimilable d'un sol, passe à l'état non assimilable, dans certaines conditions de culture. — Quand on donne à intervalles réguliers de copieuses fumures de fumier de ferme, à réactions très alcalines, on maintient l'acide phosphorique du sol à l'état assimilable, mais si on cesse l'emploi du fumier, l'acide phosphorique redevient non assimilable, et la terre bénéficie de l'apport des engrais phosphatés; c'est le cas du champ d'expériences de Grignon maintenu longtemps sans engrais (1).

Un cultivateur qui par suite de circonstances particulières (voisinage d'une grande ville, permettant la vente avantageuse de la paille) serait conduit à restreindre l'emploi du fumier et à faire surtout usage d'engrais commerciaux, pourrait trouver les superphosphates efficaces sur une terre où ils ne produisaient pas d'effet, quand on distribuait du fumier de ferme. Réciproquement, quand on emploie habituellement des engrais salins, et qu'on reconnaît aux superphosphates une haute utilité, on peut trouver qu'ils sont sans action, quand on substitue le fumier aux engrais salins. Ce changement est dû, non seulement à l'apport d'acide phosphorique du fumier, mais aussi, ainsi qu'il a été dit, à la réaction qu'exercent ses carbonates sur les phosphates non assimilables du sol. Le fumier renferme en effet 3 kilos d'acide phosphorique à la tonne; une fumure de 50 tonnes pour quatre ans apporte donc 150 kilos d'acide phosphorique: or les récoltes exigeantes enlèvent environ 50 kilos d'acide phosphorique, le sol ne doit donc fournir comme supplément que 50 kilos pour les quatre ans ou $12^k,5$ par an; s'il renferme 1 000 à 1 200 kilos d'acide phosphorique attaquable par l'acide acétique, la fraction que cette masse doit abandonner aux récoltes est minime et on conçoit que l'addition des 30 ou 40 kilos d'acide phosphorique apporté par les superphosphates n'exerce pas grande action.

L'inutilité de l'emploi des superphosphates sur un sol qui reçoit des doses suffisantes de fumier de ferme est bien marquée à Rothamsted. Quand on cultive avec des engrais salins seulement, les superphosphates exercent une action sensible, nous en avons

(1) *Ann., agr.*, t. XVII, p. 445.

donné de nombreux exemples, mais leur effet devient à peu près nul quand ils sont associés au fumier. De 1856 à 1870, on a employé, sur des navets de Suède, 35000 kilos de fumier à l'hectare; on a obtenu en moyenne sans autre addition 15000 kilogrammes de racines à l'hectare, la récolte n'est montée qu'à 15800 quand au fumier ont été ajoutés des superphosphates.

En résumé, nous voyons qu'un grand nombre de sol bénéficient de l'emploi des engrais phosphatés; s'ils ne produisent guère d'effet sur les terres présentant une grande richesse initiale comme les terres volcaniques, sur celles qui reçoivent de copieuses fumures de fumier de ferme, ils sont au contraire efficaces toutes les fois qu'on cesse l'emploi du fumier pour y substituer les engrais salins ; ils sont encore utiles sur les terres provenant de la désagrégation de roches pauvres en acide phosphorique telles que les schistes, les gneiss ou les granites.

Cette utilité des phosphates étant reconnue il reste à décider quelle variété il est avantageux d'acquérir.

En laissant de côté les roches cristallines telles que les apatites ou les phosphorites qui ne sont presque jamais répandues sur le sol sans traitement préalable, le commerce nous offre, d'une part, du noir animal, des cendres d'os ou de la poudre des nodules; de l'autre, des superphosphates, enfin des scories de déphosphoration, et il convient de préciser dans quels cas, sur quels sols, ces engrais doivent être employés.

EMPLOI DES PHOSPHATES NATURELS.

On peut prévoir par des essais de laboratoire comment les agents naturels du sol, comment les racines attaqueront les phosphates naturels; ces prévisions doivent être appuyées par des expériences de culture. Ces deux ordres de recherches sont exposés dans les paragraphes suivants.

§ 246. — Essais de laboratoire.

La terre arable renferme toujours dans son atmosphère de l'acide carbonique, provenant de la combustion de la matière organique, provoquée par les cryptogames et les microorganismes qui pullulent dans le sol; en outre, dans les terres de défrichement où abondent les débris organiques, j'ai rencontré de petites quantités d'acide

acétique (1); c'est donc à l'action de ces agents qu'il faut exposer les phosphates naturels pulvérisés pour prévoir leur assimilabilité.

Acide carbonique. — Dumas (2), puis Lassaigne (3), ont montré. il y a longtemps la solubilité du phosphate de chaux des os dans l'acide carbonique. Bobierre a étendu cette réaction à la poudre des nodules en les immergeant dans l'eau de Seltz; j'ai reconnu, dès 1857, que cette solubilité augmentait beaucoup, quand la poudre des nodules restait exposée à l'air pendant quelque temps; ainsi en immergeant dans l'eau de Seltz 10 grammes de poudre de nodules immédiatement après le broyage, on a trouvé en dissolution, une quantité d'acide phosphorique telle, qu'elle fournit $0^{gr},040$ de pyrophosphate de magnésie, tandis qu'en soumettant au même traitement 10 grammes de poudre, exposée à l'action de l'air dans un magasin pendant trois mois, on a obtenu $0^{gr},300$ de phosphate de magnésie.

On observa des faits analogues en employant de l'acide acétique faible dans lequel passait un courant d'acide carbonique; on a trouvé que 10^{gr} de poudre exposée à l'air abandonnait aux dissolvants $0^{gr},88$ de phosphate de chaux et seulement $0^{gr},44$ quand ces réactifs agissaient sur des nodules récemment pulvérisés.

En effet, sous l'influence de l'oxygène atmosphérique la poudre des nodules change d'aspect; elle passe du vert clair à une teinte jaunâtre, elle s'échauffe légèrement, le protoxyde de fer qu'elle renferme passe au maximum, se transforme en sesquioxyde et ce commencement d'altération favorise l'action dissolvante des acides du sol.

Composts de tourbe et de phosphates naturels. — MM. Fleischer et Kissling ont mis à profit les propriétés dissolvantes d'un mélange riche en matières organiques comme la tourbe pour dissoudre l'acide phosphorique des phosphates insolubles (4).

On a mélangé de la tourbe à raison de 116 kilogrammes au maximum, de 29 kilogrammes au minimum, à 2 kilogrammes de phosphorite renfermant $0^{gr},600$ d'acide phosphorique; on laissa les tas exposés à l'air pendant neuf mois environ, en les retournant de temps à autre; puis on y chercha l'acide phosphorique dissous; on trouva qu'avec la haute dose de tourbe 8 p. 100 environ de l'acide phosphorique total s'était dissous, tandis que 0.6 p. 100

(1) *Thèse pour le doctorat*, 1859, p. 52.
(2) *Comptes rendus*, t. XXIII, p. 1018, 1846.
(3) *Comptes rendus*, t. XXIII, p. 1019, 1846.
(4) *Ann. agron.*, t. X, p. 332.

étaient entrés en dissolution, quand la tourbe n'avait été employée qu'en minime portion.

Les sels ajoutés au mélange favorisent la dissolution de l'acide phosphorique ; tandis qu'avec la tourbe seule on n'arrive jamais à dissoudre plus d'un dixième de l'acide total ; on atteint 19 centièmes en mélangeant au compost du sulfate de potasse.

Ces sortes de composts paraissent convenir particulièrement aux terrains sablonneux ; ils réussissent également sur les terrains calcaires, ainsi qu'il résulte d'une expérience exécutée par M. Grandeau, qui a obtenu de petites surfaces comparables, cultivées en orge, ayant reçu la même quantité de phosphates additionnés ou non de tourbes, les résultats résumés dans le tableau suivants :

	Sol calcaire		Sol argileux	
	sans tourbe.	avec tourbe.	sans tourbe.	avec tourbe.
Récolte.....	$0^{kil},430$	$0^{kil},800$	$0^{kil},600$	$0^{kil},775$
Ac. phosphorique soluble par kilogr. de terre...	$0^{gr},3$	$1^{gr},0$	$0^{gr},6$	$0^{gr},8$

Le mélange de tourbe et de phosphate a donc été efficace, et cette efficacité est expliquée par la solubilité qu'a acquise l'acide phosphorique lorsque les phosphates ont été mélangés avec la tourbe.

Cette expérience mérite qu'on s'y arrête ; en effet, si on conçoit aisément que les phosphates se dissolvent dans un sol sablonneux chargé de matières organiques par l'action des acides carbonique et acétique, on ne comprend plus aussi bien comment se produit cette dissolution dans une terre calcaire où les acides provenant de l'altération des débris végétaux sont certainement saturés ; on peut invoquer, il est vrai, l'action du carbonate de chaux dissout par l'acide carbonique du sol, agissant sur le phosphate de fer des nodules, mais il est vraisemblable qu'une autre cause entre en jeu et que les phosphates sont attaqués et dissouts par la matière organique elle-même. Nous avons signalé la présence de ces combinaisons de phosphate et de matières azotées dans les plantes (pag. 178), et nous avons vu de plus, que M. Grandeau a montré que les cendres laissées par la combustion des matières noires du sol ou du fumier présentaient une composition très complexe et qu'on y trouvait à la fois de l'acide phosphorique, de la chaux et de l'oxyde de fer. Il est manifeste que ces matières ne peuvent rester en dissolution que grâce à la matière organique, qu'on doit dès lors considérer comme un excellent dissolvant des phosphates.

Il est donc probable que si, ainsi que le montrent les expériences précédentes, la tourbe favorise l'assimilation des phosphates, c'est grâce à la combinaison qu'ils contractent avec les matières ulmiques.

Mélange de la poudre des nodules avec le fumier. — Les faits que nous venons de rappeler sont de nature à expliquer comment nombre d'agronomes conseille de mélanger la poudre des nodules au fumier; ils supposent que les carbonates alcalins, agissant à la température relativement élevée que produit la fermentation aérobie, sur la poudre des nodules, attaqueront les phosphates et les amèneront à l'état soluble.

Les quelques essais que j'ai exécutés sur ce sujet, à l'École de Grignon, ne m'ont pas donné de résultats bien concluants, mais ils n'ont pas été poursuivis avec assez de persévérance pour que je puisse blâmer les conseils donnés par des hommes considérables comme Thénard, Malaguti, M. Grandeau et plusieurs autres.

Il existe au reste quelques expériences favorables à cette pratique : M. Vivien suit dans une bergerie, la production de deux poids égaux de fumier, laisse l'un à l'état normal, additionne l'autre de poudre de nodules à raison de 200 grammes par tête de mouton et par jour; quand on met fin à l'essai, le dosage de l'acide phosphorique conduit aux chiffres suivants :

	Fumier additionné de phosphates.	Fumier naturel.
Acide phosphorique total.....	0.651	0.268
— — soluble dans l'oxalate d'ammoniaque.....	0.212	0.149
— — soluble dans le citrate d'ammoniaque.....	0.182	0.132

M. P. Genay d'autre part (1) a fait mélanger de la poudre des nodules à du fumier et il a trouvé :

	Fumier additionné de phosphates.	Fumier naturel.
Acide phosphorique total.....	2.106	1.261
— — soluble dans l'oxalate d'ammoniaque.....	1.130	0.907

Dans ces deux cas le mélange des phosphates fossiles au fumier a

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 215. — On verra plus loin que cependant, sur le sol, l'influence de ce mélange n'a pas été sensible.

donc été favorable à la dissolution de l'acide phosphorique. On a assuré d'antre part que cette pratique pouvait avoir cet inconvénient de déterminer une certaine déperdition d'azote, le carbonate de chaux des nodules réagissant sur les matières organiques pour y produire de l'ammoniaque; dans les deux expériences précédentes cette déperdition n'a pas eu lieu, et nous savons au reste que les pertes d'ammoniaque sont toujours faciles à éviter avec des arrosages suffisants.

Je tiens enfin de M. Muntz qu'il répand ce mélange de fumier et de phosphates avec grand avantage dans les vignes de la Gironde.

Quant aux quantités à mélanger, elles doivent être calculées sur la fumure de fumier et de phosphate qu'on juge utile de donner à l'hectare. Si on veut par exemple distribuer 50 000 kilos de fumier et 1 000 kilos de phosphate fossile, il faudra répandre dans le tas un poids de phosphate qui soit le cinquantième du poids du fumier produit; on se rappelle qu'une tête de gros bétail donne en moyenne en un an, vingt-cinq fois son poids de fumier, on trouvera donc que le poids du phosphate sera la moitié du poids du bétail.

Action des carbonates. — Nous avons vu que les carbonates alcalins et le carbonate de chaux (pages 422 et 525) agissent sur les phosphates de sesquioxyde du sol; ces phosphates ne sont pas en général assez abondants dans la poudre des nodules pour que l'action soit favorable, aussi la poudre des nodules n'exerce-t-elle aucune action sur les terrains calcaires.

§ 247. — Influence de la pulvérisation.

Nous venons d'indiquer dans quelles conditions l'acide phosphorique des phosphates naturels entrait en dissolution et nous avons toujours supposé qu'on opérait avec la poudre des nodules, mais il importe d'insister sur le degré de finesse qu'elle présente.

L'attention des agronomes a été attirée sur ce point et dès le début de l'emploi des phosphates fossiles, en 1857, dans l'usine de la Villette, où ces phosphates étaient moulus, on se préoccupait de les obtenir en poudre très fine; depuis MM. Menier et Barral, M. Vivien, M. Durin, l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie se sont successivement occupés de cette question; elle

présente un très grand intérêt; M. Vivien, en effet, a obtenu les résultats suivants, en soumettant à l'action des dissolvants : acide acétique et oxalate d'ammoniaque, des phosphates réduits en poudre plus ou moins fine constatée par leur passage au travers d'un tamis du n° 150 dont les mailles sont écartées $0^{mm},15$ environ.

ORIGINE DU PHOSPHATE.		SUR 100 DE PHOSPHATE, il en passe au travers d'un tamis de n° 150.	SUR 100 D'ACIDE PHOSPHORIQUE TOTAL, il s'en dissout	
			dans l'acide acétique.	dans l'oxalate d'ammoniaque.
Somme.....	1	60.20	15.95	52.10
—	2	52.00	11.55	42.91
—	3	35.84	5.75	36.10
Ciply.....	1	91.40	7.87	45.52
—	2	53.60	6.35	34.55
Meuse.....	1	84.80	13.02	61.31
—	2	62.40	15.47	42.59
Quievy.....	1	100.00	98.24	81.72
—	2	79.20	6.40	68.07

Il est visible que la finesse du grain a une grande influence sur l'attaque par les réactifs, et que par conséquent les cultivateurs devront non seulement demander aux chimistes chargés des analyses, la composition des phosphates, mais en outre le degré de finesse qu'ils présentent; la culture devra en outre consentir à payer le phosphate à un prix d'autant plus élevé, qu'il sera livré en poudre plus fine.

Il résulte, en effet, d'une expérience de M. Wagner, qui a porté sur des scories de déphosphoration que dans des cultures de lin, d'orge et de froment, l'action des superphosphates étant représentée par 100, celle de la poudre très fine de scories est égale à 61, celle de la mouture fine à 58, celle de la mouture grossière seulement à 13.

§ 248. — Terres sur lesquelles réussissent les phosphates naturels.

Nous résumerons plus loin les très nombreuses expériences dans lesquelles on a mis en comparaison les phosphates naturels et les superphosphates, nous nous bornerons ici à indiquer les résultats généraux de l'emploi des nodules ou du noir animal.

Rieffel, fondateur de l'école de Grandjouan dans la Loire-Infé-

rieure, qui a tant contribué à mettre en culture les landes de Bretagne, a obtenu les résultats suivants :

1re année.	Terre de landes écobuée....	766 k.	de froment à l'hectare.
2e —	— phosphatée.	1950 —	—

Dans un autre cas, le même agronome obtient des chiffres encore plus significatifs :

	Seigle.	Sarrasin.	Blé.
Terre de landes brute.....	0	0	0
— phosphatée.....	25	26	12

De Molon qui a mis en exploitation les nodules de phosphate de chaux, cite dans une note adressée à l'Académie des sciences (1), une expérience exécutée par M. Collet dans laquelle il constate que le sarrasin développé sur la poudre de nodules présentait une hauteur double de celui qui avait crû sur une fumure de noir animal.

M. de Kerjegu à la ferme école de Trévarez dans le Finistère, fait passer en 1864 sa récolte de sarrasin, à l'hectare, de 10 hectolitres à 25, en répandant 540 kilos de phosphate fossile.

On aura toutefois une idée plus exacte de l'importance de l'emploi des nodules en Bretagne en relisant la déposition que fit en 1864 : Malaguti devant la commission d'*Enquête sur les engrais industriels* (2) :

M. Elie de Beaumont. — Dans les environs de Rennes n'emploie-t-on pas le phosphate de nodules avec succès?

M. Malaguti. — Avec un immense succès. Je n'hésite pas à dire que la découverte du phosphate fossile est une découverte providentielle... Le succès de ce phosphate en Bretagne est véritablement prodigieux. S'il y a quelque chose à craindre pour l'avenir de cet engrais, ce n'est pas le ralentissement, mais l'abus de son emploi. Autant les populations rurales de l'Ouest sont lentes à adopter les innovations, autant elles s'en engouent une fois adoptées. Il est à craindre que nos cultivateurs éblouis par les brillants succès de la campagne de 1864, ne s'avisent d'employer à tort et à travers la poudre de nodules, etc...

Il est absolument démontré aujourd'hui que les phosphates fossiles simplement réduits en poudre exercent sur les terres de défrichement une influence des plus remarquables, jusqu'à doubler et tripler la récolte, ou même comme l'a montré Rieffel, jusqu'à permettre d'obtenir des produits d'un sol qui sans phosphates ne donne rien.

(1) *Comptes rendus*, t. XLVI, p. 238.
(2) P. 896.

Si, sur les terres de schistes, sur les granites les nodules pulvérisés sont très efficaces, il n'en est pas ainsi partout : sur les terres calcaires ces nodules ne présentent aucune efficacité. Il est même beaucoup d'autres terres sur lesquelles l'effet est également nul. M. Paul Genay donne à ses terres de Meurthe-et-Moselle qui sont cependant pauvres en phosphates: du fumier seul, ou du fumier mélangé de poudre de nodules, les récoltes sont identiques, l'effet produit par l'addition des nodules est nul et par suite le bénéfice tiré de quatre récoltes successives : de pommes de terre, blé, seigle et avoine est moindre quand on a employé les nodules que lorsqu'on s'est abstenu d'en répandre (1).

M. Guillaume, directeur de l'École d'horticulture de Vilpreux, essaie dans les Ardennes sur une terre également pauvre en phosphates de donner simultanément du fumier et de la poudre des nodules, l'effet est nul sur le blé, le maïs fourrage, les pommes de terre ; et les différences constatées sur les betteraves et l'avoine restent dans les limites des erreurs d'expériences (2).

Il est donc manifeste que c'est surtout quand on opère sur des sols riches en débris organiques, sur des défrichements que les phosphates fossiles sont à recommander; dans de semblables circonstances, il faut *toujours* les essayer; sans doute la réussite n'est pas certaine, mais elle est très probable et les avantages à recueillir sont tellement supérieurs à la dépense qu'occasionnent les 400 ou 500 kilos de phosphates à acquérir, que cette dépense doit toujours être risquée; elle s'élève, en effet, à 20 ou 25 francs par hectare pour achat de l'engrais et en supposant que cette somme soit doublée par le transport et l'épandage, elle est bien loin de représenter la plus-value possible.

§ 249. — Emplois successifs des phosphates et de la chaux.

Lorsque nous avons indiqué les conditions nécessaires à la nitrification, nous avons montré qu'elle exigeait la présence dans le sol d'une base salifiable, que notamment des sols à réaction acide ne nitrifiaient qu'autant qu'on les chaulait ou qu'on les marnait, (page 622), et on conçoit dès lors qu'un cultivateur désireux d'améliorer un sol de défrichement, soit conduit à lui fournir les deux éléments manquants : calcaire et phosphate. Cette manière de faire

(1) *Ann. agron.*, t. XVI, p. 216.
(2) *Ann. agron.*, t. VII, p. 590.

n'est pas cependant à conseiller; il arrive que les matières ulmiques, les acides qu'elles engendrent saturés par la chaux du calcaire n'agissent plus sur les phosphates; le fait a été observé si souvent qu'il est maintenant défini par une expression populaire, on dit que *la chaux brûle le noir*; c'est-à-dire qu'après un chaulage le noir animal est sans effet. Il convient donc de donner successivement ces deux matières : distribuer les phosphates dans le cours d'une première année, et d'ordinaire cette première addition détermine déjà une amélioration sensible, on voit notamment apparaître le petit trèfle blanc des prairies, puis la seconde année, on distribue la chaux ou la marne et l'influence de ces deux engrais est telle qu'elle rend possible la culture rémunératrice des céréales.

EMPLOI DES SUPERPHOSPHATES

§ 250. — Expériences de laboratoire.

L'attaque des phosphates naturels par l'acide sulfurique, ayant pour but de rendre l'acide phosphorique soluble dans l'eau, ce n'est pas sur cette solubilité que doivent porter les investigations, elle est acquise; mais bien sur les dangers qu'occasionne la causticité que donnent aux superphosphates les acides phosphorique et sulfurique libres qu'ils renferment habituellement. Dans la plupart des sols cette causticité ne persiste pas, nous avons déjà indiqué (p. 439) à quels résultats était arrivé A. Vœlcker en introduisant des superphosphates dans diverses terres, et nous avons vu que très rapidement l'acide phosphorique libre ou le phosphate acide de chaux étaient saturés dans des sols calcaires ou même simplement pourvus d'une dose moyenne de carbonate de chaux. La saturation est naturellement plus lente dans des sols argileux ou dans des sols sablonneux, elle peut même, dans des sols schisteux et granitique dépourvus de calcaire être tellement incomplète que les plantes ne puissent résister aux atteintes des acides. Nous avons rappelé en effet que Bobierre avait trouvé qu'un sol de Bretagne formé de la désagrégation de roches schisteuses donnant dans une expérience en pots $0^{g},462$ de grains de sarrasin après addition de poudre de nodules, n'en donnait plus que $0^{g},020$ après emploi de superphosphate bien qu'on eût pris la précaution de le neutraliser avec de la craie. On conçoit donc très bien que les superphosphates ne conviennent pas aux sols qui ne renferment pas de bases capa-

bles de neutraliser les acides qu'ils renferment, bases qui peuvent être soit la chaux du calcaire, soit l'oxyde de fer et l'alumine des argiles et si on a des doutes sur ce sujet, il peut être bon de mélanger à la terre qu'on veut traiter, des superphosphates dans la proportion où ils doivent être employés, et de chercher pendant combien de temps la réaction acide persiste. Si après quinze jours ou trois semaines, elle est encore notable, il est prudent de ne pas employer les superphosphates, mais d'avoir recours à d'autres engrais phosphatés et notamment aux scories de déphosphoration.

§ 251. — Expériences de culture.

Les sols sur lesquels les superphosphates exercent une influence nocive sont en somme assez rares et l'emploi des superphosphates est aujourd'hui si répandu, qu'on n'a que l'embarras du choix pour citer des exemples de leur efficacité.

A Rothamsted, les champs cultivés en blé qui ont reçu chaque année une fumure de sels ammoniacaux renfermant 96 kilos d'azote, en même temps que des engrais minéraux et notamment des superphosphates ont donné en moyenne 29h,47 de 1852 à 1882, tandis que lorsqu'on a donné des sels ammoniacaux seulement, sans y adjoindre de matières minérales, la récolte a été seulement de 18h,45.

L'épuisement du sol en phosphate se fait particulièrement sentir pendant les dernières années de l'expérience ; cet effet est très sensible sur les parcelles 10A et 10B. 10A a reçu une seule fumure minérale suivie de trente-neuf fumures ammoniacales et 10B a reçu pendant les sept premières années, trois fumures minérales, puis pendant les trente-trois années suivantes, la même fumure que 10A; c'est-à-dire des sels ammoniacaux seulement chaque année. On a obtenu les résultats suivants :

	Hectolitres de grains à l'hectare.	
	10A.	10B.
Moyenne de 8 ans (1852-1859).....	20.47	24.75
— (1860-1867).....	21.60	24.53
— (1868-1875).....	17.10	18.11
— (1876-1883).....	15.73	16.31
Moyenne de 32 ans (1852-1883).....	18.45	20.92

La quantité de grain récoltée diminue donc régulièrement, à mesure que la culture sans phosphates se prolonge.

Nous avons montré plus haut que l'analyse des eaux de drainage beaucoup plus chargées de nitrates sur la parcelle qui ne reçoit que des sels ammoniacaux que sur celle qui reçoit en même temps des superphosphates confirme leur influence sur l'utilisation des matières azotées des engrais.

A Blaringhem, dans les cultures de blé que nous avons disposées avec M. Porion, l'effet des superphosphates est très marqué, les pièces recevaient de fortes fumures de fumier et, en outre, des sels ammoniacaux additionnés ou non de superphosphates; on a obtenu en 1885, avec des sels ammoniacaux sans superphosphates $44^{qm},5$ de grains à l'hectare et $48^{qm},5$ quand on a fait entrer dans la fumure 300 kilos de superphosphates. En 1886, avec du fumier seulement on obtenait $41^{qm},4$ de grain et 43,97 en ajoutant des superphosphates, 49,6 quand à ces fumures se joignaient du sulfate d'ammoniaque et un engrais de potasse. En 1887 le fumier seul donnait $32^{qm},5$ et $38^{qm},2$ quand le superphosphate s'ajoutait au fumier.

En Angleterre l'emploi des superphosphates est absolumenl général, l'assolement débute habituellement par des turneps qui reçoivent toujours une fumure de superphosphates. Leur influence est plus marquée, en effet, sur les racines que sur les récoltes de grain et à Wardrecques où les superphosphates n'agissent guère sur le blé, ils augmentent la récolte des betteraves.

En résumé, les superphosphates, exercent sur nombre de sols une influence tellement manifeste, qu'il faut *toujours* les essayer et ne renoncer à leur emploi qu'autant que d'une part, on a reconnu par l'expérience qu'ils ne produisent pas d'effet, que de l'autre l'analyse a indiqué dans les sols sur lesquels ils n'ont pas marqué, des proportions notables d'acide phosphorique total et assimilable; et il semblerait qu'il n'y eut pas lieu d'insister sur leur emploi si on n'avait, depuis quelques années, proposé de substituer aux superphosphates d'un prix assez élevé, les phosphates non traités par l'acide sulfurique, la poudre de nodules ou celle des scories de déphosphoration; il convient donc de mettre en parallèle ces divers engrais phosphatés, en voyant dans quels cas l'efficacité de chacun d'eux est particulièrement marquée.

§ 252. — Comparaison entre les superphosphates et les phosphates non traités par l'acide sulfurique.

Les agronomes paraissaient, il y a quelques années, d'accord sur les deux points suivants :

Le noir animal, la poudre des nodules conviennent aux sols riches en débris organiques, landes, vieilles prairies, bois défrichés.

Les superphosphates, au contraire, doivent être employés sur les terres anciennement cultivées; quand ces conclusions trop absolues furent attaqués par M. Jamiesson. Il publia, en mars 1878, un mémoire intéressant (1) dans lequel il rapportait qu'en opérant sur plusieurs sols différents, il avait obtenu les résultats suivants dans la culture des navets :

Rendement de navets à l'hectare.

		Phosphates insolubles d'origine	
		minérale.	animale.
1876.	Moyenne de 10 expériences dans 5 stations.	40.600	42.670
	— 2 exp. à la station de Cluny...	47.600	37.650
1877.	— 2 — ...	22.210	18.679

		Phosphates solubles d'origine	
		minérale.	animale.
1876.	Moyenne de 10 expériences dans 5 stations.	46.000	44.170
	— 2 exp. à la station de Cluny...	47.000	37.650
1877.	— 2 — ...	24.340	24.215

Et il tirait de ces expériences la conclusion suivante : « Pendant l'année 1876, on compara l'influence qu'exercent, sur le développement des turneps, des quantités de phosphate insoluble et de phosphate soluble dans le rapport de 3 à 2, le superphosphate renfermant environ la moitié de son poids d'acide phosphorique à l'état soluble. En 1877 on employa des poids égaux d'acide phosphorique soluble et insoluble. Des expériences de 1876 on peut tirer qu'en moyenne la supériorité des phosphates solubles est d'environ 10 p. 100 sur les phosphates insolubles, mais que dans quelques cas les phosphates solubles ont une valeur de 12 et même de 15 p. 100 supérieure à celle des phosphates insolubles. Les expériences de 1877 montrèrent que la supériorité des superphosphates sur les phosphates n'excède pas 20 p. 100. Dans aucun cas on n'a trouvé des différences qui expliquent la faveur dont jouissent auprès des cultivateurs les superphosphates. ni qui justifient l'énorme différence de prix qui existe entre les phosphates traités par l'acide sulfurique et les phosphates naturels.

A cette époque, en effet, les phosphates naturels renfermant environ 20 p. 100 d'acide phosphorique valaient 5 francs les 100 kilos le kilo d'acide phosphorique revenait donc à $\frac{20}{5} = 0{,}40$, tandis que le kilogramme d'acide phosphorique soluble se vendait de 1 franc à

(1) *Ann. agron.*, t. IV, p. 618.

1 fr. 20 le kilogramme, c'est-à-dire toujours plus du double et parfois le triple de l'acide phosphorique insoluble.

Ce mémoire provoqua de vives contradictions. A. Vœlcker, chimiste de la Société royale d'agriculture d'Angleterre (1), rappela dans le journal de cette Société, nombre d'expériences où les rendements avaient été considérablement élevés quand on substitua l'emploi des superphosphates à celui des phosphates naturels.

En 1843, le duc de Richmond dépense pour 94 francs par hectare de poudre d'os sur une culture de turneps, il obtient une récolte de 28.763 kilos; la même poudre d'os traitée d'abord par l'acide sulfurique a donné pour une dépense de 54 francs seulement 33.910 kilos de racines.

En 1845, M. Haunam emploie 753 kilos d'os broyés, par hectare, il en obtient 25.538 kilos de racines; 376 kilos d'os traités par la moitié de leur poids d'acide sulfurique donnent 40.340 kilos; une quantité moitié moindre du même engrais donne encore 31 550 kilos.

Le Dr Vœlcker cite nombre d'autres exemples favorables à l'emploi des superphosphates.

Quoi qu'il en soit, la question était posée et la discussion précédente provoqua de nombreuses expériences, elles conduisirent naturellement, suivant les sols, à des résultats différents.

M. Garola rapporte notamment (2) qu'aux champs d'expériences de Lucé dans Eure-et-Loir, riche en débris organiques, les nodules pulvérisés ont produit autant d'effet que les superphosphates.

Au contraire, au champ d'expériences de Cloches, cultivé par M. Oscar Benoît, la terre est moins riche en débris organiques, les superphosphates ont exercé sur la culture des betteraves une influence très marquée, tandis que les nodules n'ont rien donné. Au champ d'expériences de Gas, encore cultivé par M. O. Benoist, la terre ne renferme que 0 gr, 58 d'acide phosphorique par kilogr. l'emploi des superphosphates fournit 35 hectolitres d'orge, celui des nodules laisse la récolte à 21, tandis que sans engrais phosphatés on obtenait 19 h,75.

M. Raulin, au champ d'expériences de Pierre-Bénite, dépendant de la station agronomiqne de Lyon, trouva pendant la première année d'emploi sur du blé Dattel, une supériorité marquée aux superphosphates sur les nodules, mais il ajoute avec raison que les phosphates à acide peu soluble ne peuvent être jugés par une

(1) *Ann. agron.*, t. VI, p. 501.
(2) *Ann. agron.*, t. XIV, p. 170

seule année d'expériences et qu'il convient de voir si leur action peu sensible, immédiatement après leur épandage, ne s'accentue pas les années suivantes. Il trouva en effet, en continuant ses essais, que les nodules réduits en poudre, qui n'avaient rien donné l'année même de leur emploi, fournirent au contraire sur les récoltes qui suivirent, un excédent sur la parcelle sans engrais plus considérable que les superphosphates; aussi l'auteur arrive-t-il à cette conclusion : « les phosphates à acide insoluble dans le citrate sont lentement assimilables par les céréales, soit qu'ils se modifient dans le sol avec le temps, soit qu'ils se disséminent peu à peu par des cultures répétées : on peut donc les employer avec profit, à condition d'en mettre la première année un grand excès, et de réparer les pertes les années suivantes (1). »

M. Raulin arrive ainsi, à une conclusion analogue à celle de M. Jamiesson; M. Grandeau d'autre part a soutenu la même opinion ; on fera donc bien d'essayer comparativement les phosphates insolubles et les superphosphates, en se rappelant que les phosphates insolubles n'agissent que lentement et que c'est souvent l'année qui suit leur épandage que leur action devient sensible. Il est bien à remarquer au reste que le prix des superphosphates étant aujourd'hui beaucoup moins élevé qu'au moment où cette question a été soulevée, l'intérêt de substituer des phosphates insolubles au superphosphate a singulièrement diminué.

§ 253. — Emploi des scories de déphosphoration.

Nous avons vu que l'industrie métallurgique fournit actuellement à l'agriculture une grande quantité de scories riches en acide phosphorique, dont l'emploi s'est beaucoup répandu pendant ces dernières années.

MM. Wrighton et Munro ont exécuté un grand nombre d'essais de ces matières, dans deux localités différentes en Angleterre (2); à Downton, le sol est léger, crayeux, il accuse à l'analyse 27,9 de carbonate de chaux et 0,25 d'acide phosphorique, dont 0,07 soluble dans l'acide acétique; à Ferryhill, dans le Durham, la terre ne renferme au contraire que 0,15 de carbonate de chaux et 0,054 d'acide phosphorique.

On a employé dans ces expériences : des scories, du phosphate

(1) *Ann. agr.*, t. XV, p. 177.
(2) *Ann. agr.*, t. XII, p. 453.

précipité, du superphosphate, contenant 12 p. 100 d'acide phosphorique, un superphosphate riche à 20, 1 p. 100 d'acide phosphorique et de la poudre de nodules à 25, 1 p. 100 d'acide phosphorique.

Les scories et le phosphate précipité présentaient la composition suivante :

	Scories.	Phosphate précipité.
Chaux	41.54	29.91
Magnésie	6.13	0.63
Alumine	2.60	1.89
Protoxyde de fer	14.66	traces.
Peroxyde de fer	8.64	3.62
Protoxyde de manganèse	3.81	0.56
— de vanadium	0.29	0.99
Silice	7.40	7.53
Acide phosphorique	14.32	30.89
Anhydride sulfurique	0.31	5.13
Soufre	0.23	»
Acide carbonique	»	0.28
Eau combinée	»	11.66
Humidité	»	7.06
	99.92	100.15

Dans l'expérience suivante sur les turneps, les auteurs ont mis en comparaison diverses formes d'engrais phosphatés, ils ont obtenu les résultats suivants :

300 kil. de superphosphates à l'hectare ont donné :

	Tonnes.		
A Downton un accroissement de	8.8	par hectare valant	77 francs.
A Ferryhill —	11.3	—	98 —

300 kil. de poudre de nodules :

	Tonnes.		
A Downton un accroissement de	1.8	par hectare valant	16 —
A Ferryhill —	10.0	—	87 —

500 kil. de scories :

	Tonnes.		
A Downton un accroissement de	8.8	par hectare valant	77 —
A Ferryhill —	14.4	—	126 —

A Ferryhill, sol non calcaire, les scories réussissent mieux que les superphosphates, cependant, en donnant ces deux engrais en poids tels, qu'ils renferment la même quantité d'acide phosphorique, on trouva que l'acide phosphorique soluble des superphosphates est plus efficace que l'acide contenu dans les scories, mais

les différences sont bien plus grandes à Downton qu'à Ferryhill.

En préparant, à l'aide des scories, un phosphate précipité, on trouve encore qu'à Downton ce phosphate est plus efficace que celui des scories et surtout que celui des nodules, mais qu'à Ferryhill, le phosphate précipité et les scories, supérieurs l'un et l'autre aux nodules exercent des actions presque semblables.

Répandues sur des sols peu calcaires, les scories exercent donc souvent une influence décisive. C'est ce qui découle encore des expériences suivantes :

M. P. Genay les a mises en comparaison dans une série d'expériences, disposées de 1886 à 1888 (1). Résumant les résultats obtenus, cet habile cultivateur s'énonce ainsi :

« En employant des engrais chimiques complets dans lesquels l'acide phosphorique a été donné au sol sous une forme différente dans chaque lot, mais toujours pour la même somme d'argent par hectare, on reconnaît que le phosphate minéral est de beaucoup inférieur aux trois autres. Malgré la présence de l'azote et de la potasse en quantité considérable le phosphate minéral n'a été assimilé qu'en faibles proportions et son emploi a occasionné une perte de 27 francs alors que le phosphate précipité donnait un produit net de 63 francs, le superphosphate de 122 francs et la farine de scorie phosphorée de 357 francs.

Nous trouvons d'autre part dans le bulletin de la station agronomique de la Loire-Inférieure, les résultats suivants dus à M. Andouard, qui cultive aux environs de Nantes un champ d'expériences silico argileux; la terre ayant reçu le même poids d'azote assimilable a fourni à l'hectare, en 1889.

		Scories de déphosphoration.	Phosphates fossiles.	Différences en faveur des scories.
		quint. mét.	quint. mét.	quint. mét.
Blé du pays.....	Grain.....	21.8	19.4	2.4
	Paille.....	45.2	40.6	4.6
Avoine noire....	Grain.....	22.8	18.6	4.2
	Paille.....	40.5	36.4	4.6
Prairie naturelle.	Foin.....	45.5	42.5	3.0
	—	55.5	50.1	5.4
		Scories de déphosphoration.	Superphosphates.	
Blé Victoria.....	Grain.....	24.0	20.4	3.6
	Paille.....	44.5	46.6	—2.1

(1) *Ann. agr.*, t. XVI, p. 217.

Les scories de déphosphoration se sont donc montrées supérieures aux phosphates fossiles et même, quand on les a mises en comparaison avec les superphosphates, elles ont donné plus de grain, mais un peu moins de paille. On conçoit, d'après les résultats précédents, que les scories de déphosphoration soient considérées comme un engrais phosphaté des plus efficaces.

L'acide phosphorique qu'elles renferment n'est cependant que partiellement soluble dans les réactifs employés dans les laboratoires pour déterminer le degré d'assimilabilité des engrais, aussi, dans l'espoir d'élever leur prix, a-t-on essayé de traiter les scories par l'acide sulfurique, et de les transformer en un produit désigné sous le nom de *scories dissoutes* ou de *superphosphate de fer.*

La principale objection à l'emploi des scories pour la fabrication des superphosphates est leur richesse en oxydes de fer et surtout en oxyde ferreux. Le traitement par l'acide sulfurique convertit cet oxyde de fer en sulfate ferreux, matière généralement reconnue comme nuisible à la végétation. Il est bien certain que les sols qui contiennent une certaine quantité de vitriol vert sont stériles, mais cette stérilité disparaît, dès que l'on est parvenu à peroxyder le fer en labourant le sol. Il est vrai qu'une fumure de 200 à 300 kilogr. de scories dissoutes par hectare représente une quantité de sulfate de fer assez peu considérable. On a donc dû tenter l'expérience.

Elle n'a pas été favorable; on a reconnu, d'une part, que le superphosphate de chaux additionné de sulfate de fer, perdait de son efficacité; et d'autre part que les scories dissoutes étaient moins avantageuses que lorsqu'elles n'avaient pas été traitées par l'acide sulfurique.

§ 254. — Résumé. — Mode d'emploi des engrais phosphatés.

Les cultivateurs emploient les phosphates :

1° Sur des terres de défrichement souvent riches en matières organiques;

2° Sur des terres anciennement cultivées qui peuvent être : (*a*) calcaires (*b*) non calcaires.

Quels sont les engrais phosphatés qui conviennent à ces différents sols, c'est ce qu'il importe de résumer en quelques lignes.

Terres de défrichement. — Sur ces terres, d'ordinaire riches en matières organiques, il faut *toujours* essayer les nodules pulvérisés : à la dose de 300 à 400 kilos à l'hectare, ils produisent souvent

d'excellents effets; le *noir animal* à la dose de 200 à 300 kilos est également très efficace.

Il faut éviter, ainsi qu'il a été dit, de distribuer simultanément à ces sols les phosphates et les amendements calcaires. Les phosphates doivent être répandus d'abord, et seulement l'année suivante la marne ou la chaux.

Les scories de déphosphoration renfermant de l'acide phosphorique beaucoup plus attaquable que celui des nodules, peuvent être employées également, malgré la grande quantité de chaux qu'elles apportent au sol. On peut essayer 500 kilos à l'hectare.

Terres anciennement cultivées : (a) calcaires. — Sur ces terres les superphosphates sont absolument indiqués, toutes les autres formes de phosphates sont peu efficaces; on peut employer 300 kilos à l'hectare pour les betteraves ou les pommes de terre; généralement 200 kilos suffisent pour le blé. L'addition de ces phosphates à une bonne fumure de fumier de ferme est habituellement très avantageuse pour les terres où l'acide phosphorique est en faible quantité (voyez page 750).

Terres anciennement cultivées : (b) non calcaires. — Pour ces sortes de sol, les scories de déphosphoration ou les phosphates précipités sont absolument indiqués; la dose de 300 ou 400 kilos à l'hectare est généralement suffisante.

Remarque. — Les engrais phosphatés sont particulièrement efficaces dans les terres qui ne reçoivent pas de fumier de ferme, et qui sont cultivées à l'aide d'engrais de commerce; il arrive souvent que des terres, même médiocrement riches en acide phosphorique, ne bénéficient plus de l'emploi des engrais phosphatés quand elles reçoivent de fortes doses de fumier de ferme.

CHAPITRE XI

ENGRAIS DE POTASSE. — CHLORURE DE SODIUM. SULFATE DE FER.

La potasse se rencontre dans les cendres de tous les végétaux, et par suite elle est enlevée au sol arable par toutes les récoltes qui sont exportées du domaine; nous avons montré en outre, § 45, que cette base est nécessaire au développement de la plante; on ne saurait cependant déduire de ces prélèvements constants, de cette nécessité absolue de la présence de la potasse dans le sol pour

obtenir de bonnes récoltes, que partout et toujours les engrais de potasse devront être employés. Nous avons défini l'engrais : « La matière utile à la plante, qui manque au sol », et on conçoit que, bien que chaque récolte prélève une certaine quantité de potasse, le prélèvement puisse être assez faible, vis-à-vis de la quantité de potasse contenue dans la plupart des sols, pour que la restitution soit inutile et n'exerce aucune action sur l'abondance des récoltes. Il est d'autant plus naturel que cette inutilité soit fréquente, que la potasse est bien retenue par la terre arable, qu'elle ne se rencontre qu'en minimes proportions dans les eaux de drainage, et que par suite elle n'est pas soumise aux grandes causes de déperdition de l'azote qui sous forme de nitrates s'échappe si aisément des terres cultivées.

Il est visible, d'autre part, que s'il existe des sols dans lesquels la potasse fait défaut, elle y sera apportée avec grand avantage; et manifestement cet avantage sera d'autant plus grand que les plantes auxquelles cette potasse sera fournie en ont un besoin plus marqué.

On conçoit donc que dans ce chapitre nous cherchions, d'une part, dans quels terrains la potasse est rare ou abondante, de l'autre sur quelles plantes elle exerce le maximum d'effet.

Quand nous aurons classé les terrains d'après leur richesse présumée en potasse, nous indiquerons quels sont les sels de potasse qui peuvent être employés, puis nous résumerons les expériences qui ont été exécutées sur l'emploi agricole des sels de potasse.

On a autrefois attaché une grande importance à l'emploi, comme engrais, du sel marin, la discussion des opinions émises sur ce sujet enfin quelques lignes sur les usages agricoles du sulfate de fer termineront ce chapitre; il comprendra donc les paragraphes suivants :

§ 255. — De l'abondance ou de la rareté de la potasse dans les terrains de divers formations géologiques.

§ 256. — Origine des engrais de potasse. Sels de potasse employés aux usages agricoles.

§ 257. — Emploi des engrais de potasse sur les racines et tubercules.

§ 258. — Emploi des engrais de potasse sur les céréales.

§ 259. — Emploi des engrais de potasse sur les prairies.

§ 260. — Emploi des engrais de potasse sur la culture du tabac.

§ 261. — Emploi des engrais de potasse sur la vigne.

§ 262. — Emploi agricole du sel marin.

§ 263. — Emploi agricole du sulfate de fer.

§ 255. — De l'abondance ou de la rareté de la potasse dans les terrains de diverses formations géologiques.

Nous avons indiqué dans le premier chapitre de la seconde partie : *Formation des terres arables* que l'argile provient de la décomposition au sein de l'eau, des silicates à plusieurs bases qui par leur association constituent les roches primitives ou volcaniques.

Pendant cette décomposition, une partie de la silice, et de la potasse ont été entraînées, sans cependant disparaître complètement et dans presque tous les sols argileux, elle existe en quantités notables; nous avons donné (page 424), la teneur en potasse totale d'un certain nombre de sols argileux et nous avons vu que la quantité de potasse qu'ils renferment est énorme.

En cherchant l'état dans lequel se trouve cette potasse, nous avons été arrêté par le manque d'une méthode précise qui nous permît de distinguer la potasse assimilable de celle qui, engagée en combinaison dans des roches dures et compactes, n'est manifestement pas encore utilisable par les végétaux; nous avons reconnu cependant, qu'en traitant la terre, soit par de grandes masses d'eau qui triomphent des propriétés absorbantes, soit par de l'eau chargée de sulfate de chaux ou de magnésie, qui transforment le carbonate de potasse, habituellement retenu par la terre arable, en sulfate sur lequel ces propriétés absorbantes ne s'exercent plus : nous enlevions, par l'une ou l'autre de ces méthodes, aux sols, mis en expériences, des quantités de potasse bien supérieures à celles qu'exigent nos récoltes. Nous avons vu, pour répéter l'expression employée § 132, que la terre renferme souvent une grande quantité de potasse soluble, mais non dissoute; et on conçoit dès lors que cette potasse simplement retenue par les propriétés absorbantes des terres arables, soit utilisée par les plantes dont les racines sont pourvues de sucs assez acides pour décomposer le carbonate de potasse des argiles, et amener la base à un nouvel état, où elle est facilement assimilée. Ces considérations permettent de concevoir comment dans les terres argileuses les engrais de potasse n'exerceront guère d'action : dans ces terres, la potasse ne manque pas, et par suite pour elles, les sels de potasse ne sont pas des engrais.

Les exemples abondent : quand, en 1865, on eut découvert en

Allemagne le riche gisement de sel gemme de Stassfurth-Anhalt, qu'on y eut trouvé une grande quantité de carnallite (chlorure double de potassium et de magnésium), qu'on eut livré à l'agriculture à bas prix les sels de potasse, je me hâtai d'en faire l'essai à Grignon, en général je n'en obtins aucun effet, et cependant notre terre de Grignon n'est ni très riche en argile, ni très chargée de potasse; Corenwinder à la même époque essaya sans succès les sels de potasse sur les terres fortes des environs de Lille.

Il semble que les argiles à silex qui abondent dans la Beauce, dans le pays de Caux, le Vexin normand, dans la Brie, dans la Somme et le Pas-de-Calais, qu'en outre les alluvions quaternaires renferment assez de potasse pour que l'emploi des engrais potassiques soit sans effet, c'est au moins ce qui résulte de très nombreux essais dus à MM. Pagnoul, Grandeau, Gattelier, Garola, Colomb-Pradel. Il en est de même, en général dans les terrains qui s'appuient sur des roches primitives, Bretagne, Vendée, Limousin; ceux qui dérivent des schistes, Bretagne, Anjou, Maine, etc.; les marnes du lias sont dans le même cas; on voit donc que la plus grande partie des terres françaises peuvent produire sans l'addition des sels de potasse, qu'il faut réserver aux sols où cette base fait défaut. Nous indiquerons plus loin cependant quelques exceptions.

Terres pauvres en potasse. — Ces terres sont essentiellement la craie, les sables, les grès. En Champagne la potasse fait habituellement défaut et son addition est généralement fructueuse; il il en est de même dans les sables des Landes et dans les grès des Vosges.

M. de Rohans a obtenu, près de Reims, dans une culture de blé :

	Blé.	
	Grains.	Paille.
Engrais complet.....	2.785 kil.	7.000 kil.
— sans azote.....	2.670 —	5.430 —
— sans phosphate	2.000 —	6.320 —
— sans potasse.....	1.015 —	4.025 —

Dans les terrains tourbeux, en Allemagne, la potasse a produit des effets merveilleux; on a obtenu des récoltes de colza qui ont présenté les rapports suivants :

Sans fumure.....	7
Avec acide phosphorique seul.....	12
Avec potasse seule.....	13
Avec acide phosphorique et potasse.....	43

En résumé, on voit que les engrais de potasse ont des chances de réussite sur les terres non argileuses : craies, sables et tourbes; en effet, les fumiers ne renfermant jamais que les matières minérales non utilisées par les animaux ou les grains, sont naturellement très peu chargés des principes que la terre ne fournit aux récoltes qu'avec parcimonie, par suite, ils n'apportent pas aux sols non argileux la forte dose de potasse qu'ils renferment dans les exploitations où l'argile en fournit aux plantes de grandes proportions : d'où la nécessité d'essayer, sur ces terres, les engrais de potasse.

§ 256. — Origine des engrais de potasse.

La potasse faisant partie intégrante de toutes les plantes, on conçoit que les cendres puissent servir à l'extraction de cette base. Naguère, elle n'avait pas d'autre origine; on l'extrayait des cendres des bois dont l'exploitation économique est impossible; c'est ainsi que dans les forêts du Nord de la Russie, on brûle le bois pour préparer à l'aide des cendres du carbonate de potasse.

Dans les fermes les cendres des foyers sont habituellement réservées aux usages domestiques, aux lessives, elles passent ensuite au fumier, ou au tas de terreau, et la potasse qu'elles renferment encore retourne au sol dont elle provient, mais il n'en est plus ainsi pour les alcalis contenus dans les végétaux exportés, et les salins de betteraves notamment sont le plus souvent employés aux usages industriels.

On sait que les jus sucrés préparés soit par pression, soit par diffusion sont purifiés, évaporés, passent aux chaudières à cuire, d'où ils sont conduits aux bacs de cristallisation, et qu'il arrive un moment où la cristallisation du sucre est entravée par les sels qui se sont concentrés dans les eaux mères; les liquides noirs, visqueux, désignés sous le nom de *mélasses* sont vendus alors aux distilleries. Les mélasses étendues d'eau sont mises à fermenter, on distille pour recueillir l'alcool; les résidus de cette distillation sont évaporés puis enfin calcinés, et laissent des salins d'où on sépare par cristallisation successive des sulfates, des chlorures, des carbonates de potassium et de sodium.

Le carbonate de potasse a de nombreux usages industriels; son prix est plus élevé que celui du chlorure et du sulfate, aussi n'est-il employé comme engrais qu'en petite quantité. Le chlorure et le sul-

fate plus généralement utilisés ne persistent pas au reste dans le sol sous leur forme primitive; si on agite une dissolution étendue de chlorure de potassium avec une terre moyennement calcaire, on trouve dans le liquide filtré du chlorure de calcium et très peu de potasse; il s'est fait un double échange et la potasse unie à l'acide carbonique a été retenue par les propriétés absorbantes des terres arables; la réaction est analogue à celle qui se produit avec le chlorhydrate d'ammoniaque indiquée déjà (page 435).

On conçoit donc que le chlorure de potassium obtenu à meilleur compte que le carbonate de potasse, donnant ce carbonate dans le sol, lui soit préféré.

Il n'a pas toujours au reste une origine terrestre : il est encore extrait des eaux mères des marais salants, des salines de Stassfurth-Anhalt, ou des cendres de varech; le chlorure de potassium du commerce renferme souvent de petites quantités de sel marin et ne doit être acheté que sur analyses.

Bien que les cultivateurs fassent habituellement usage du chlorure de potassium pur ou du sulfate de potasse, ils utilisent aussi parfois le minéral trouvé en abondance à Stassfurth-Anhalt et désigné sous le nom de carnallite; c'est un chlorure de potassium et de magnésium correspondant à la formule $KCl,MgCl^2,6H^2O$; il est bien à remarquer toutefois que ce minéral est rarement pur et renferme très souvent une proportion très notable de chlorure de sodium et de sulfate de magnésie; la composition moyenne des cristaux désignés sous le nom de carnallite est représentée par :

Chlorure de potassium.....	17.5 (15 à 20)
— de sodium	22.0
— de magnésium	23.5
Sulfate de magnésie.....	9.0
Eau	28.0
	100.0 (1)

On a fait également usage pendant quelque temps de produits provenant du traitement de la Carnallite et désignés sous le nom de kalisalz ou de kalidunger (sel de potasse ou engrais de potasse) vendus à pris assez bas, mais ces engrais très chargés de sel marin paraissent aujourd'hui peu employés.

Les salines du Midi de la France produisent encore un sulfate double de potasse et de magnésie, désigné sous le nom d'Engrais

(1) *Étude sur le gisement salin de Stassfurth-Anhalt*, par M. Fuchs, *Ann. des mines*, t. VIII, 1865.

Merle, dont l'emploi a fait place depuis plusieurs années à celui du sulfate de potasse pur.

Bien que dans ces derniers temps, on ait préconisé, l'épandage dans les vignes du carbonate de potasse, on peut dire qu'en réalité les engrais de potasse habituellement employés en France se réduisent à deux : le sulfate et le chlorure ; doivent-ils être acquis indifféremment ? quelles sont les terres et quelles sont les cultures sur lesquelles ils ont particulièrement chance de réussir? Telles sont les questions que nous allons discuter dans les paragraphes suivants :

§ 257. — Emploi des engrais de potasse sur les tubercules et les racines.

Parmi les plantes de grande culture les pommes de terre et les betteraves sont celles qui renferment dans leurs cendres les plus grandes quantités de potasse, elle représente pour les pommes de terre : du tiers à près de la moitié du poids total des cendres ; on ne peut pas affirmer cependant que cette base ait sur le développement de ces plantes une influence décisive, nous avons vu déjà qu'il n'est pas possible de déduire de l'analyse des cendres d'un végétal la nature des engrais qui lui sont nécessaires ; mais il est évident d'autre part qu'il est utile de savoir par des expériences directes, si les engrais renfermant les éléments des cendres présentent ou non quelque utilité.

Emploi des sels de potasse sur les cultures de pommes de terre. — L'engrais étant essentiellement une matière complémentaire nous allons reconnaître que sur les terres pauvres où la potasse est peu abondante les engrais de potasse vont exercer une influence manifeste, tandis que leur effet sera peu sensible ou nul sur des terres enrichies par d'abondantes fumures de fumier de ferme qui renferme comme nous l'avons vu une grande quantité de potasse.

En 1866, peu de temps après la découverte du gisement de Stassfurth, j'ai disposé à Grignon des essais de culture de la variété Chardon sur deux terres différentes ; l'une dite « Terre de la Défonce » occupe le plateau nord de l'École ; elle est calcaire, peu épaisse, très sèche et ne donne de bonnes récoltes que par les années humides ; toutes les parcelles ayant reçu une fumure de phospho-guano, on employa comme engrais de potasse, le sulfate de potasse et de magnésie des usines Merle, l'engrais de potasse allemand (kalidunger) et du sulfate de potasse, renfermant la même quantité de potasse ; on obtint :

	Hectolitres de pommes de terre à l'hectare.	Poids de l'hectolitre.
Sans engrais de potasse.....	160	57.5
1000 kil. de sulfate de potasse et de magnésie.....	240	63.3
1500 kil. d'engrais de potasse.....	233	62.7
600 kil. de sulfate de potasse.....	187	60.0

L'influence du sulfate de potasse est donc très minime, tandis que celle des deux autres engrais est considérable.

Sur la terre de la septième division qui à l'analyse avait donné une quantité de potasse soluble dans l'eau moindre que la terre de la Défonce, bien qu'elle soit infiniment meilleure et plus fertile, l'emploi des mêmes doses d'engrais ne produisit qu'un effet très peu sensible; le fait pourrait sembler paradoxal, si on ne réfléchissait que la terre de la septième division est beaucoup plus profonde, plus argileuse et que par suite les racines en s'y enfonçant, peuvent trouver des aliments alcalins en bien plus grande quantité que sur la terre de la Défonce dont l'épaisseur est minime.

En 1867, on recommença ces essais sur la terre des vingt-six arpents qui est une des meilleures de l'École; ils portèrent sur la variété Marjollin, l'effet des engrais de potasse fut nul.

Vingt-trois ans plus tard, sur une autre terre du domaine, plutôt silico-argileuse que calcaire MM. Berthault et Boiret ont essayé sur un grand nombre de variétés l'emploi de divers engrais (1) Ils ont obtenu en tubercules à l'hectare :

Sans engrais	25.165 kilos.
Nitrate de soude.....	26.937 —
Chlorure de potassium.....	26.773 —
Superphosphate.....	25.634 —
Engrais complet.....	26.111 —

L'emploi du chlorure de potassium a fourni, relativement à la parcelle sans engrais, un excédent de 1612 kilos valant 64fr,48, le chlorure avait coûté 46 francs, le bénéfice réalisé par son emploi est donc médiocre.

Il y a déjà quelques années (2), MM. Boursier et Saint-André ont essayé dans l'Oise l'influence de divers engrais sur plusieurs variétés de pommes de terre. Ils ont obtenu à l'hectare :

(1) *Ann. agr.*, t. XVII, p. 505.
(2) *Ann. agr.*, t. XI, p. 143.

Superphosphate de chaux	20.242 kilos.
Fumier de ferme	19.207 —
Superphosphate et nitrate de soude	19.191 —
— nitrate de soude et chlorure de potassium	18.583 —
— et nitrate de potasse	18.076 —

L'effet du chlorure de potassium a été nul.

M. Edler, directeur de la station agronomique de Gœttingue, a reconnu en 1879 et en 1881, que l'application du nitrate de potasse était plus avantageuse, qu'elle fournissait un rendement plus élevé que celui qu'on obtient du nitrate de soude; j'ai répété cette expérience au Muséum, en 1883; on obtint une forte récolte de 805 grammes par poquet, de la pomme de terre de Hollande; ce serait 32000 kilos à l'hectare, mais le rendement fut exactement le même qu'on eût employé comme engrais le nitrate de soude ou le nitrate de potasse. On avait opéré sur une bonne terre franche où visiblement la potasse ne faisait pas défaut (1).

Il en a été autrement dans le domaine de M. P. Genay, à la ferme de Bellevue, située au pied des Vosges, dans Meurthe-et-Moselle. Le sol silico-argileux assez compact provient de la décomposition du grès bigarré.

M. P. Genay a obtenu en moyenne avec le *Magnum bonum*, pendant les années 1885, 86, 87 et 88, les rendements de tubercules suivants à l'hectare, sur défrichement de prairies temporaires:

Sans engrais	18.725 kilos.
Engrais complet (*a*)	23.800 —
— sans azote	21.025 —
— sans acide phosphorique	21.650 —
— sans potasse	20.975 —

(*a*) L'engrais complet est formé de :

200 kil. nitrate de soude.
200 — superphosphate ou 1000 kil. scorie phosphoreuse en farine.
100 — de potasse réelle.

Sur une autre partie du domaine on a obtenu à l'hectare :

Sans engrais	16.725 kilos.
Avec 500 kil. superphosphate et 200 kil. chlorure de potassium	19.300 —
Avec 200 kil. chlorure de potassium	18.075 —
Avec 500 kil. superphosphate	16.300 —

(1) *Ann. agr.*, t. IX, p. 96 et 510.

Ainsi, tandis que le chlorure de potassium employé seul a augmenté la récolte, qu'il l'a augmentée encore davantage quand il a été mélangé au superphosphate, l'acide phosphorique sans potasse n'a exercé aucune action.

Voilà donc une terre sur laquelle la potasse est avantageuse; on remarquera cependant que ces cultures ont eu lieu sans qu'on employât le fumier de ferme; si on avait commencé par en distribuer, il est vraisemblable que le complément de chlorure de potassium eût été sans effet.

Nous en trouvons une preuve dans un mémoire du Dr Gilbert sur la culture des pommes de terre; en employant un engrais complet, renfermant du nitrate de soude ou des sels ammoniacaux, des superphosphates et des sels de potasse de chaux et de magnésie, on a obtenu en moyenne 14785 et 14923 kilos de tubercules sains à l'hectare, de 1876 à 1887; quand on a employé du fumier, du nitrate de soude et du superphosphate, sans sels de potasse, le rendement a été de 14782 kilos, c'est-à-dire à peu près semblable aux précédents. En résumé, quand la culture sera soutenue par des produits chimiques, on fera bien d'essayer d'ajouter au nitrate de soude et au superphosphate du chlorure de potassium, si on cultive la pomme de terre dans une terre sablonneuse; mais si on donne du fumier de ferme, l'addition de l'engrais de potasse sera généralement inutile.

Topinambours. — Dans un travail publié récemment (1), M. Lechartier a trouvé que sur un sol renfermant 3gr par kilo de potasse attaquable, le chlorure de potassium exerçait une influence décisive sur le développement des topinambours, tandis que sans engrais on obtenait 20 tonnes de tubercules à l'hectare, l'emploi du chlorure de potassium portât la récolte à 35 tonnes.

Emploi des engrais de potasse sur les cultures de betteraves. — Les engrais de potasse ne doivent être employés sur les betteraves à sucre qu'avec quelques précautions; s'ils n'augmentent pas la récolte, ce qui arrive dans les terres fertiles, ils sont facilement absorbés par les racines, accroissent le poids des cendres et abaissent le coefficient de pureté.

En 1866, les expériences exécutées à Grignon, ont donné dans une des terres sur lesquelles avaient été disposés les essais, 42700 kilos de betteraves roses de Flandre, pour les parcelles sans

(1) *Ann. agr.*, t. XVIII, p. 70.

engrais de potasse, et 44 000 pour celles qui en ont reçu; et sur une autre partie du domaine 36 400 pour les parcelles sans engrais de potasse et 35 500 pour celles qui en ont reçu. La récolte n'a donc pas été sensiblement augmentée; la proportion de sucre n'a pas varié, mais en revanche on a trouvé dans un cas 0,84 de cendres dans 100 de betteraves venues sur engrais potassique, contre 0,68 dans les betteraves sans engrais; dans l'autre essai, 1.06 de cendres pour 100 de betteraves à engrais de potasse contre 0.67 dans les betteraves sans engrais; l'influence des engrais de potasse a donc été tout à fait défavorable; en 1867 les résultats ont été également désavantageux. Corenwinder avait de son côté étudié l'action des engrais de potasse sur la betterave et n'en avait obtenu aucun profit.

Il ne faudrait pas conclure de ces échecs, que la potasse ne soit pas nécessaire à la betterave; c'est à une autre cause qu'il faut attribuer le peu d'influence qu'exerçent sur elle les engrais de potasse; il est à remarquer d'abord que les betteraves ne sont habituellement cultivées que dans des terres fertiles où la potasse ne fait pas défaut, il est à remarquer en outre que la betterave bénéficiant à un haut degré de la matière ulmique, reçoit des fumures de fumier de ferme, et avec elles des quantités notables de potasse, qui enlèvent toute utilité aux applications directes de ces engrais.

Remarquons cependant que même, quand on cultive avec des engrais chimiques, la potasse n'exerce pas une influence décisive. M. Pagnoul (1) ayant disposé en 1872, 73 et 75 des cultures de betteraves sur deux sortes de parcelles, les unes recevant chaque année des sels de potasse et les autres des sels de soude, reconnut que les betteraves à la potasse étaient un peu supérieures pour la richesse et la pureté, un peu inférieures pour le rendement. M. Pagnoul ne conseille de substituer le nitrate de potasse au nitrate de soude que lorsque les prix de ces deux engrais ne seront pas très éloignés l'un de l'autre.

§ 258. — Emploi des engrais de potasse sur les céréales.

Blé. — Il y a longtemps que M. G. Ville (2) a montré que la potasse était un élément indispensable au développement du blé,

(1) *Ann. agr.*, t. II, p. 328.
(2) *Comptes rendus*, t. LI, p. 246, 1860.

nous avons insisté plus haut (page 165) sur la netteté des résultats qu'il a publiés; on en pouvait déduire que lorsque la potasse n'est pas très abondante dans le sol ou que les conditions favorables à sa dissolution ne se rencontrent pas, l'emploi des engrais de potasse doit être particulièrement efficace sur la culture du blé.

J'en puis citer, en effet, des exemples : en 1866, à Grignon, une parcelle qui est restée sans engrais de potasse a fourni seulement 21 hectolitres de blé, deux autres qui ont reçu soit du sulfate de potasse pur, soit du sulfate de potasse et de magnésie ont donné 22 et 23^{h},5, enfin quand la potasse a été donnée sous forme de chlorure avec le kalidunger, la récolte est montée à 27 hectolitres.

En 1867, sans engrais de potasse, on a recueilli sur les parcelles témoins 15^{h},5 et 17^{h},5; les parcelles qui ont reçu l'engrais de potasse seul ont donné en moyenne 24^{h},4, associés à du phospho-guano les engrais de potasse ont donné 27 hectolitres et 30 quand on a ajouté à ces deux engrais, du sulfate d'ammoniaque.

Depuis cette époque, j'ai essayé à Grignon, à diverses reprises, les engrais de potasse sur le blé sans en tirer grand avantage, il est facile d'en trouver la raison, on s'est particulièrement occupé au champ d'expériences du blé à épi carré, qui ne donne de pleines récoltes que lorsqu'il se trouve dans une terre très fertile, on a donc été conduit à ne le mettre que sur des terres enrichies par de copieuses distributions de fumier de ferme, soit pour la récolte qui a précédé le blé, soit pour le blé lui-même; or ainsi qu'il a été dit déjà, le fumier apporte assez de potasse pour qu'en général, une nouvelle addition devienne inutile.

Un des plus beaux exemples qu'on puisse citer de l'emploi des engrais de potasse dans la culture du blé est fourni par les cultures aux engrais chimiques de Rothamsted, tandis qu'en maintenant constantes les quantités de sulfate d'ammoniaque (448 k.) et de superphosphates (407 k.) on obtient sans autre addition 25 hectolitres de grains à l'hectare, on monte à 30, quand on ajoute à ces engrais du sulfate de potasse ; il est remarquable que le rendement soit le même, quand on substitue du sulfate de soude ou du sulfate de magnésie, au sulfate de potasse; on conçoit qu'il en soit ainsi quand on se rappelle l'expérience que nous avons citée (page 150), dans laquelle on a vu des haricots arrosés par des dissolutions de plus en plus riches en sel marin, mourir par pléthore de chlorure de potassium; montrant ainsi que le chlorure de sodium ajouté avait fait double échange avec le carbonate de potasse du sol.

Il ne faut pas croire cependant qu'il soit indifférent de distribuer à une culture de blé : du sulfate ou du chlorure de potassium, le second me paraît préférable ; dans les expériences que j'ai exécutées sur ce sujet en 1866, j'ai employé des quantités de potasse égales et cependant quand elle a été donnée sous forme de sulfate de potasse, elle a été, ainsi qu'il vient d'être dit, bien moins efficace que sous forme de chlorure.

On se rappelle enfin les expériences de Nobbe, Erdmann et Schrœder sur l'action qu'exerce le chlorure de potassium sur la migration de l'amidon et je ne serais pas étonné que cette action se produisit dans le blé (page 167).

M. Fr. Bella, ancien directeur de l'École de Grignon, pensait que s'il est avantageux de mettre des blocs de sel gemme dans les bergeries, ainsi que l'École le fait depuis longtemps, c'est non seulement parce que ce sel exerce une influence heureuse sur la santé du bétail, mais aussi parce que passant dans les urines, puis dans le fumier, il arrivait finalement au sol au grand bénéfice des cultures. Il ne serait pas étonnant qu'il en fût ainsi, le chlorure de sodium se transformant aisément dans le sol en chlorure de potassium.

Avoine. — On doit à M. D. Zolla, professeur à l'École de Grignon, une observation très nette de l'influence heureuse qu'exerce parfois le chlorure de potassium sur la récolte d'avoine (1), elle a porté sur une très grande culture de 50 hectares divisée en plusieurs pièces, sans chlorure de potassium on a obtenu 47^{h},4 de grain, avec 45 kilos de chlorure de potassium à l'hectare, on a recueilli 47^{h},8, la différence est minime, mais lorsque la dosé a été portée à 190 kilos, on en a obtenu 51^{h},45.

Dans son ouvrage sur l'emploi des sels de potasse en agriculture M. Mœrcker est très affirmatif, il dit :

« De sept essais se rapportant à l'engrais de potasse dans la culture de l'avoine, pas un n'a donné un résultat défavorable. Nous pouvons dire que l'avoine est une des plantes sur lesquelles les sels de potasse exercent le plus d'influence, cette influence se fait sentir même dans les meilleures terres. »

Nous n'avons pas, à Grignon, observé ce résultat avec la même netteté, et je ne serais pas étonné que cette divergence dût être attribuée à la place qu'occupe l'avoine dans notre assolement :

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 45.

quand elle arrive, comme au champ d'expériences de Grignon, après les betteraves qui ont reçu une forte fumure de fumier de ferme, une grande quantité de potasse est introduite d'une façon occulte en quelque sorte et la plante qui succède aux betteraves ne bénéficie pas de l'emploi des sels de potasse ; si, au contraire, on sème, ainsi qu'il arrive souvent, l'avoine en fin d'assolement après le blé, on conçoit que très éloignée de la fumure de fumier de ferme, elle puisse souffrir d'une certaine pénurie de potasse dans le sol et que l'addition de ces engrais soit avantageuse.

Époque de la distribution des sels de potasse. — Convient-il de mettre les sels de potasse au printemps avec le nitrate de soude ou au contraire à l'automne en même temps que le fumier et les superphosphates?

Je n'ai pas sur ce sujet de renseignements personnels bien précis; les auteurs allemands préconisent l'épandage d'automne et je serais disposé à me ranger à leur opinion ; le chlorure de potassium ainsi qu'il a été dit réagit sur le carbonate de chaux du sol et donne du carbonate de potasse qui est bien retenu, l'eau n'entraîne guère que de petites quantités de chlorure de calcium.

En résumé, je crois qu'il y a chance d'obtenir de bons effets du chlorure de potassium employé à l'automne sur les cultures de blé à la dose de 200 kilos à l'hectare, à la même dose distribuée sur l'avoine au printemps, quand on cultive avec des engrais salins ; si on emploie le fumier de ferme la réussite des engrais de potasse devient douteuse excepté dans les sols où la potasse fait tout à fait défaut.

§ 259. — Emploi des sels de potasse sur les prairies.

Dans le grand travail qu'ils ont consacré aux prairies permanentes, MM. Lawes et Gilbert (1) ont étudié l'action qu'exercent sur les rendements les sels de potasse.

Deux parcelles, 7 et 8, ont reçu pendant une première période des engrais minéraux : superphosphates et sulfates alcalins, avec de la sciure de bois comme engrais organique, puis pendant la seconde période, on a remplacé sur 8 le sulfate de potasse par du sulfate de soude; cette substitution a diminué la récolte ainsi que le montre le tableau suivant :

(1) *Ann. agron.*, t. VI, p. 595.

Moyennes par hectare et par an.

		Parcelle 7. kilos.	Parcelle 8. kilos.	Différences de 8 sur 7. kilos.
Foin récolté.	1re période (1856-61) mêmes engrais sur les deux parcelles.....	4295	4510	+ 215
	2e période (1862-75) la parcelle 8 reçoit de la soude au lieu de potasse	4492	3470	— 1022

L'absence de potasse a déterminé une diminution considérable de récolte, la proportion des légumineuses a considérablement baissé, aussi le fourrage est-il devenu moins riche en azote; de 1,5 d'azote pour 100 de foin, il tombe à 1,3.

L'influence heureuse qu'exerce la potasse est encore mise en lumière dans une autre expérience où la comparaison s'établit entre la parcelle 9, qui a reçu pendant vingt ans de 1856 à 1875 une fumure de 448 kilos de sel ammoniacaux à l'hectare, et un engrais minéral formé de superphosphate et de sulfates alcalins comprenant 336 kilos de sulfate de potasse, 112 de sulfate de soude et 112 de sulfate de magnésie et la parcelle 10, qui après avoir reçu de 1856 à 1861 la même fumure que 9 a été privée de potasse pendant la seconde période.

Moyennes par hectare et par an.

		Parcelle 9. Potasse pendant 20 ans.	Parcelle 10. Potasse pendant 6 ans; sans potasse depuis 1862.	Différences de 9 sur 10.
		kil.	kil.	kil.
Foin.	1re période (1856-61).....	7111	6970	— 141
	2e — (1862-75).....	6092	5292	— 799

Au point du vue botanique les deux parcelles ne différaient que très peu l'une de l'autre : cependant les graminées avaient peine à mûrir sur la parcelle privée de potasse ; l'assimilation du carbone s'y faisait mal et les plantes souffraient d'une pléthore d'azote : les légumineuses y étaient rares.

Les auteurs ont enfin établi une comparaison très instructive entre la parcelle 7, qui a reçu des engrais minéraux seulement renfermant, ainsi qu'il a été dit, outre du superphosphate de chaux, des sulfates de potasse, de soude et de magnésie et la parcelle 3 maintenue sans engrais.

Moyennes par hectare et par an.

		Parcelle 7. Engrais minéraux seulement.	Parcelle 3. Toujours sans engrais.	Différences.
		kil.	kil.	kil.
Foin..	1re période (1856-65)...	4253.0	2835.0	1418.0
	2e — (1866-75)...	4612.0	2504.0	2108.0
Azote.	1re période (1856-65)...	61.8	39.3	22 5
	2e — (1865-75)...	65.0	34.6	30.4

Le poids du foin récolté est un peu plus élevé que celui qu'ont fourni les sels ammoniacaux employés seuls; on voit, en outre, que la richesse en azote du foin développé sous l'influence des engrais minéraux est considérable ; pour savoir à quelles causes l'attribuer, les auteurs ont procédé à une analyse botanique du foin récolté, et ont trouvé que les graminées formaient pour la parcelle 3 : 66,9 p. 100 du foin et seulement 62,9 pour la parcelle 7, mais qu'au contraire les légumineuses formaient 7,6 p. du foin pour la parcelle 3 et 19,8 pour la parcelle 7.

L'influence des engrais minéraux sur la production des légumineuses est donc très marquée, et comme on sait que les plantes de cette famille se saisissent aisément de l'azote atmosphérique, on conçoit que le foin de la parcelle 7, bien que n'ayant pas reçu d'engrais azoté soit beaucoup plus riche que celui de la parcelle 3.

Les auteurs résument comme suit leurs observations sur l'influence de la potasse :

« 1° Avec ou sans engrais azotés, la potasse détermine toujours un accroissement notable de récolte et si l'on vient à interrompre son emploi, le rendement diminue sans que l'azote soit sensiblement changé; le fourrage est alors riche en albuminoïdes, mais il est composé d'espèces grossières et de mauvaise qualité ;

« 2° En présence de l'ammoniaque, la culture devient essentiellement herbacée et la potasse est à peu près sans influence sur la composition botanique de l'herbage, mais avec elle la maturation s'effectue mieux et l'on obtient un meilleur produit ;

« 3° Sans ammoniaque, la potasse favorise d'une façon toute spéciale le développement des légumineuses et les caractères de la culture se modifient profondément aussitôt qu'on cesse de l'adjoindre aux engrais. »

On conçoit facilement d'après les faits précédents que les prairies de légumineuses bénéficient des engrais de potasse, M. D.

Zolla (1) a observé qu'une culture de luzerne qui avait reçu un supplément de fumure de 230 kilos de chlorure de potassium à l'hectare avait produit 5,390 kilos de foin pour la première coupe contre 4,575 récoltées sur les hectares non amendés.

On se rappelle, en outre, que la théorie du plâtrage que nous avons proposé, repose sur l'action qu'exerce le plâtre sur le carbonate de potasse du sol ; le rôle de cet amendement est en somme de mobiliser la potasse, et si plâtre double souvent la récolte des prairies artificielles, c'est à cause de leur avidité pour la potasse.

Nous avons rappelé, enfin (page 545), que dans leurs expériences sur la culture du trèfle rouge, MM. Lawes et Gilbert avaient obtenu d'un mélange de sulfate de potasse et de magnésie, une récolte plus forte que par l'emploi du plâtre. Les faits précédents indiquent clairement qu'il y a lieu d'essayer les engrais de potasses sur les prairies artificielles, et que le sulfate de potasse leur sera sans doute plus avantageux que le chlorure de potassium.

§ 260. — Emploi des sels de potasse a la culture du tabac.

Dans une étude importante qu'il a consacrée à la culture du tabac, M. Schlœsing a reconnu que les feuilles n'étaient combustibles et par suite propres à la consommation comme tabac à fumer, qu'autant qu'elles renfermaient assez de potasse pour que les acides élaborés par la plante fussent combinés à cette base ; quand au contraire, ils sont unis à la chaux, les feuilles deviennent peu combustibles, donnent des cendres noires et les cigares qu'elles ont servi à confectionner s'éteignent facilement.

Une expérience disposée sur un sol bien préparé est venue confirmer les faits déduits des analyses de laboratoire ; les tabacs développés sur un sol qui n'avait pas reçu d'engrais de potasse se sont montrés incombustibles, ceux au contraire qui ont cru sur les parcelles où des sels de potasse ont été distribués étaient combustibles, mais à des degrés divers, le sulfate de potasse s'est montré beaucoup plus avantageux que le chlorure, en effet, ce sulfate est bientôt réduit dans le sol et la quantité de potasse dosée dans les cendres est bien supérieure à celle qui correspond à l'acide sulfurique qu'elles renferment ; la potasse était donc dans les feuilles, unis aux acides végétaux, formant des sels qui donnent par la combustion, des charbons poreux perméables à l'air, se réduisant facilement en cendres.

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 38.

Les engrais de potasse qui exercent une influence marquée sur la combustibilité du tabac n'influent pas d'une façon notable sur le poids de la récolte, ni sur la teneur des feuilles en nicotine (1).

§ 261. — Emploi des sels de potasse dans la culture de la vigne.

« La présence constante de la crème de tartre dans le vin, les quantités considérables de cette substance produites dans les pays vignobles ont fait penser que la vigne enlève au sol une très forte proportion de potasse. C'est là du reste une simple présomption; et quand on se rappelle qu'on ne donne pas habituellement à la vigne plus de fumier que n'en reçoivent les cultures de racines ou de céréales, il est permis de douter qu'une récolte de vin si abondante qu'on la suppose exige plus d'alcalis que telle ou telle sole de nos rotations (2). »

Ainsi disait Boussingault dans un très court mémoire consacré à la quantité de potasse soustraite au sol par la culture de la vigne ; pour fixer les idées, l'illustre agronome a déterminé la quantité de potasse enlevée à une vigne de 170 ares : par les sarments qui servent habituellement de combustible dans les pays vignobles, par le marc et enfin par le vin.

Il a trouvé pour les quantités de potasse enlevée :

			Pour 170 ares.
Par les sarments...	2624 kil.	renferm. potasse....	11k,53
Pour le marc.....	492	—	12 ,07
Pour le vin.....	55k,05	—	4 ,64
			28k,24

ou 16k,42 à l'hectare, c'est-à-dire beaucoup moins que la pomme de terre 63 kilos, la betterave 90 kilos ou le froment 27.

Il n'est donc pas extraordinaire que dans un pays voisin de l'Alsace, dans le Palatinat, MM. Vagner et Stünkel n'aient obtenu aucun avantage à ajouter des engrais salins au fumier de ferme habituellement employé à la fumure des vignes (3).

Toutefois ces résultats s'appliquent aux récoltes moyennes des régions tempérées, pour les cultures bien plus abondantes des régions méridionales, les sels de potasse peuvent devenir utiles quand la fumure usitée est composée de tourteaux ou de chiffons

(1) *Le tobac*, par Th. Schlœsing, 1868.
(2) *Mémoires de chimie agricole*, 1re édit., 1854, p. 315.
(3) *Ann. agron.*, t. IX, p. 88.

de laine qui ne renferment pas habituellement de quantités notables de potasse.

Visiblement cette influence des sels de potasse variera avec la nature des terrains sur lesquels le vignoble est établi, dans la craie de la Champagne et des Charentes, sur les grèves du Médoc, sur les sables des Landes et de la Méditerranée, les sels de potasse exerceront un effet qu'ils n'auront pas ailleurs.

C'est donc dans cette culture comme dans les autres, la nature du terrain qui détermine le succès ou l'échec des engrais de potasse.

En résumé, il y a maintenant vingt-cinq ans que les engrais de potasse sont offerts par le commerce, et cependant il ne s'est pas créé un marché des sels potassiques comparable à celui qui s'est établi sur les phosphates, il est donc vraisemblable qu'habituellement les sols cultivés renferment une quantité suffisante de potasse pour qu'il soit inutile d'en ajouter.

Je serais, par suite, disposé à conseiller aux cultivateurs d'essayer les engrais de potasse sur de petites surfaces de façon à savoir l'effet qu'ils produisent, s'ils réussissent, on pourra acheter en connaissance de cause les quantités nécessaires à la fumure des soles sur lesquelles ces engrais ont été essayés ; s'ils ne marquent pas, cet essai préalable évitera de lourdes dépenses inutiles.

§ 262. — Sel marin.

La plupart des végétaux de grande culture ne renfermant que des traces de soude, ou même se refusant absolument à l'absorber, il semble oiseux de discuter l'utilité du sel marin, d'autant plus qu'on sait que la présence d'une quantité de sel un peu forte rend les terres stériles. Nous en avons déjà cité des exemples (page 481).

MM. Berthault et Paturel en ont donné récemment un nouveau fort intéressant. Ils ont montré, en effet, que si dans quelques terres de l'Habra (1), voisines de Perregaux en Algérie, on peut encore cultiver la vigne, quand la terre renferme $0^{gr},65$ de sel par kilogramme, elle est languissante quand on trouve $0^{gr},76$ à la surface et $2^{gr},67$ à $0^{m},80$ de profondeur et qu'enfin elle meurt avec $1^{gr},72$ de sel à la surface et $2^{gr},66$ dans le sous-sol.

Comment peut-il être utile d'apporter au sol une matière vénéneuse, c'est ce qu'il convient de discuter. Il est à remarquer, d'abord,

(1) *Ann. agron.*, t. XV, p. 35.

que les quantités qu'il s'agit d'introduire sont extrêmement éloignées de celles que renferment les terres salées; celles-ci contiennent plus d'un millième de sel, donc plus de 4,000 kilos à l'hectare de 4,000 tonnes; or les doses qu'il s'agit d'introduire varient de 100 à 200 kilos; c'est-à-dire sont 20 ou 40 fois plus faibles que celles qui sont nuisibles.

Ces faibles quantités peuvent-elles être avantageuses ? A vrai dire, elles agissent seulement comme du chlorure de potassium, car ainsi que nous l'avons dit plusieurs fois, le sel marin ajouté à un sol, non absolument privé de potasse, s'y transforme en chlorure de potassium; or, celui-ci agit avantageusement sur les cultures de céréales et sans doute sur d'autres plantes cultivées pour leurs graines, et on conçoit dès lors, ce qui paraît au premier abord paradoxal, que le sel marin puisse être avantageux, bien que le sodium ne se rencontre pas dans les végétaux de grande culture autres que la betterave.

Le sel marin sera donc utile par son chlore, et par son chlore seulement, et s'il était répandu sur une terre pauvre en potasse, il n'aurait aucune chance d'être assimilé, tandis qu'il pourra l'être dans une terre où la potasse ne fait pas défaut.

S'il s'agit d'acheter des sels neufs, la différence de prix entre le chlorure de sodium et celui de potassium ne serait peut-être pas suffisante pour que, dans la culture des terres argileuses, on donnât la préférence au meilleur marché, mais il arrive souvent qu'on trouve à acquérir des sels de rebut : saumures, etc. Or ils peuvent être avantageux sur les sols riches en potasse, mais ils n'exerceraient aucune action utile sur les calcaires ou sur les sables.

§ 263. — Sels de fer.

Sulfate de fer. — Nous avons vu, page 150, que les sels de fer se sont montrés efficaces contre la maladie des plantes désignée sous le nom de *chlorose;* nous savons en outre que les dissolutions un peu concentrées de sulfate de fer sont employées pour détruire les plantes atteintes par la cuscute, mais ces exemples d'emploi des sels de fer ne justifient pas la place très importante qu'on est porté depuis quelques années à lui donner dans les formules d'engrais.

Si, en Angleterre, M. Griffiths paraît avoir obtenu un effet avantageux du sulfate de fer, un grand nombre d'expériences exécutées par MM. Muntz, Grandeau, Wrigthson et Munro, Gaillot ont été négatives.

M. Marguerite Delachardonny assure au contraire avoir obtenu de très bons effets du sulfate de fer à la dose de 200 à 300 kilos par hectare.

Les travaux de M. A. Bernard, directeur du laboratoire départemental de Saône-et-Loire peuvent peut-être donner la raison de ces divergences : d'après lui, le sulfate de fer en passant au maximum sous l'influence de l'oxygène de l'air, réagirait sur le calcaire du sol pour le dissoudre, et diminuerait ainsi l'excès de cet élément nuisible à certains sols; l'emploi du sulfate de fer serait donc avantageux dans les sols calcaires et seulement dans ceux-là.

Ces essais doivent toujours être conduits avec une extrême prudence et sur de petites surfaces ; les doses un peu fortes exerçant souvent une influence funeste.

Cendres pyriteuses. — Cendres de Picardie. — Il existe dans les départements de l'Aisne et de la Somme, des lignites imprégnées de pyrite blanche, qui comme on sait s'oxyde très aisément au contact de l'air; ces matières sont disposées en tas, elles ne tardent pas à s'échauffer, il se forme des sulfates de fer et d'alumine, qu'on extrait par des lavages; les résidus dans lesquels le fer a passé à l'état de sesquioxyde, désignés sous les noms de cendres de Picardie, cendres rouges, renferment de 0,5 à 2 centièmes d'azote et une proportion notable de sulfates.

M. Gaillot, directeur de la station agronomique de l'Aisne a trouvé à des cendres *noires*, la composition suivante :

Matières organiques.....	20.2	
Sulfate de protoxyde de fer..	15.1	soit 34 0/0 de sels solubles.
— sesquioxyde de fer.	6.3	
— d'alumine.....	12.6	
Azote.....	0.47	

On a trouvé dans les cendres *rouges* de Picardie de 0,5 à 0,6 d'azote, de 16 à 24 de matières organiques, et des quantités de sulfate de protoxyde et de sesquioxyde de fer variant de 16 centièmes pour les cendres non lessivées à 5 pour celles dont on a extrait les sols solubles par un lavage incomplet.

La structure sablonneuse des cendres, leur couleur qui modifie la teinte trop claire des terres calcaires, enfin leur teneur en azote et en sulfate, peut-être le sulfate de fer, qui se produit par l'oxydation lente de la pyrite qui n'a pas été transformée pendant la mise en tas, expliquent l'efficacité de ces matières dont l'emploi est très fréquent dans la région septentrionale. On répand les cendres de

Picardie à la dose de 10 ou 12 hectolitres par hectare, elles sont vendues 10 francs la tonne en gare d'origine. Pas plus que le sulfate de fer, les cendres ne réunissent dans tous les terrains : dans une expérience exécutée en 1891, M. Gaillot a obtenu d'une terre fumée aux engrais chimiques 40 tonnes de betteraves à l'hectare, mais avec la même fumure, la récolte est tombée à 37 tonnes quand on a répandu des cendres noires, et à 37t,8, quand à l'engrais s'est ajouté du sulfate de fer.

CHAPITRE XII

ENGRAIS CHIMIQUES.

On désigne sous ce nom bizarre les mélanges des sels pouvant servir d'aliments aux végétaux.

Nous avons exposé déjà l'emploi du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque, des superphosphates et des sels de potasse et il semblerait au premier abord que nous ayons épuisé ce sujet; il est utile cependant d'y revenir, afin de donner la composition des engrais composés, très offerts aujourd'hui par le commerce, et d'indiquer en outre dans quelles conditions ces divers engrais ont chance de réussite. Nous traiterons successivement dans ce chapitre :

§ 264. — De la composition des engrais chimiques.

§ 265. — De l'emploi exclusif des engrais chimiques.
Disposition d'un champ d'expériences.
Doses à employer.
Mode d'épandage.
Inconvénients du mélange des nitrates et des superphosphates.

§ 266. — De l'emploi simultané des engrais chimiques et du fumier.

§ 267. — De l'emploi simultané des engrais chimiques et des engrais verts.

§ 268. — Calcul des doses d'engrais chimiques à employer pour compléter les fumures de fumier ou d'engrais verts pour la culture des betteraves.

§ 269. — Calcul des engrais complémentaires pour le blé.

Il semble que ce soit à Rothamsted sur le domaine de sir J.-B. Lawes que pour la première fois, en 1844, des terres d'une grande

étendue aient été cultivées avec l'aide exclusive des engrais chimiques; en France, M. Georges Ville a très utilement contribué par ses nombreuses publications à répandre l'emploi de ces engrais.

§ 264. — Composition des engrais chimiques.

Les sels servant d'engrais sont peu nombreux; comme engrais azotés, on emploie : du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque; pour fournir au sol de l'acide phosphorique, on répand des superphosphates, et pour donner de la potasse on utilise le chlorure, le sulfate ou le carbonate de potassium.

Ce sont ces diverses matières associées en proportions variables qui sont désignées sous le nom d'*engrais complets*; quand les doses recommandées sont plus fortes que les précédentes, on les appelle : *engrais complet intensif*.

Comme il est évident que toutes les terres ne manquent pas de tous les éléments nécessaires au développement des végétaux, qu'en outre, on sait que certaines familles ne bénéficient pas au même degré que d'autres, de certains principes, on a composé des *engrais incomplets* sans azote, sans acide phosphorique ou sans potasse.

Le cultivateur devrait toujours se guider, pour l'acquisition des engrais, sur la composition des sols qu'il exploite, et il n'est pas douteux que prochainement les négociants introduiront cette considération dans la composition des engrais qu'ils offriront au public; aujourd'hui il n'en est pas encore ainsi et les engrais sont composés d'après les besoins présumés des végétaux, c'est ainsi qu'on voit inscrits sur les catalogues, des engrais pour betteraves, pour choux, chanvre, froment, vigne, etc.; comme ces besoins sont assez mal connus, les formules diffèrent très peu les unes des autres, ainsi qu'on peut le voir par les exemples suivants, que nous empruntons à M. Georges Ville et à M. Joulie.

Répertoire et composition des principaux engrais de M. Georges Ville.

ENGRAIS COMPLET N° 1.

Pour colza, chanvre, froment, avoine, seigle, prairie.

Titres en agents de fertilité.					Pour 100 dans l'engrais.	A l'hectare.
				Superphosphate de chaux.	33.34	400 kil.
Az	P^2O^5	K^2O	CaO	Nitrate de potasse.....	16.66	200 —
6.5	5.00	8.00	17.00	Sulfate d'ammonique.....	20.83	250 —
				Sulfate de chaux.....	29.17	350 —
					100.00	1200 kil.

ENGRAIS HOMOLOGUE N° 1.

Même destination aux mêmes doses.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
				Superphosphate de chaux.	33.34	400 kil.
				Chlorure de potassium à 80°	16.66	200 —
6.6	5.00	8.33	13.00	Sulfate d'ammoniaque ...	32.50	390 —
				— de chaux.....	17.50	210 —
					100.00	1200 kil.

ENGRAIS COMPLET N° 2.

Pour choux, betteraves, carottes, jardinage.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
				Superphosphate de chaux.	33.34	400 kil.
				Nitrate de potasse.....	16.66	200 —
6.5	5.00	8.00	15.00	— de soude.....	25.00	300 —
				Sulfate de chaux.....	25.00	300 —
					100.00	1200 kil.

ENGRAIS HOMOLOGUE N° 2.

Même destination aux mêmes doses.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
				Superphosphate de chaux.	33.34	400 kil.
				Chlorure de potassium à 80°	16.66	200 —
6.5	5.00	8.33	14.00	Sulfate d'ammoniaque ...	11.66	140 —
				Nitrate de soude.....	26.00	300 —
				Sulfate de chaux.....	13.34	160 —
					100.00	1200 kil.

ENGRAIS COMPLET N° 3.

Pour pommes de terre, tabac, lin, vigne.

Titres en agents de fertilité.					Pour 100.	A l'hectare.
Az	P^2O^5	K^2O	CaO	Superphosphate de chaux.	40.00	400 kil.
4.0	6.00	14.00	19.00	Nitrate de potasse.....	30.00	300 —
				Sulfate de chaux.....	30.00	300 —
					100.00	1000 kil.

ENGRAIS COMPLET N° 4.

Pour vigne, tabac, arbres fruitiers, plantes d'ornement.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
				Superphosphate de chaux.	40.00	600 kil.
4.60	6.00	15.5	17.0	Nitrate de potasse	33.34	500 —
				Sulfate de chaux.....	26.64	400 —
					100.00	1500 kil.

ENGRAIS COMPLET N° 5.

Pour maïs, topinambours, sorghos, navets, canne à sucre.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
2.50	7.5	8.00	22.00	Superphosphate de chaux.	50.00	600 kil.
				Nitrate de potasse.....	16.66	200 —
				Sulfate de chaux.....	33.34	400 —
					100.00	1000 kil.

ENGRAIS INCOMPLET N° 1 (sans potasse).

Pour colza, céréales, prairie.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
7.00	6.00	0.00	17.00	Superphosphate de chaux.	40.00	400 kil.
				Sulfate d'ammoniaque....	35.00	350 —
				— de chaux.....	25.00	250 —
					100.00	1000 kil.

ENGRAIS INCOMPLET N° 6 (sans azote).

Pour trèfle, sainfoin, luzerne, légumineuses.

Az	P^2O^5	K^2O	CaO		Pour 100.	A l'hectare.
0.00	6.00	0.00	22.0	Superphosphate de chaux.	40.00	400 kil.
				Chlorure de potassium à 80°	20.00	200 —
				Sulfate de chaux.....	40.00	400 —
					100.00	1000 kil.

On propose encore beaucoup d'autres mélanges. Nous trouvons par exemple dans les produits préparés par MM. Joulie et Lagarde, les formules suivantes :

ENGRAIS COMPLET A.

Pour céréales, prairies naturelles, chanvre, colza, etc.

	En centièmes.
Azote ammoniacal.....	6.5
Acide phosphorique { assimilable.....	5.0
Acide phosphorique { insoluble.....	1.5
Potasse.....	8.0
Chaux.....	15.8

On conseille d'en employer de 400 à 1,000 kilos à l'hectare.

ENGRAIS COMPLET B.

Pour betteraves, carottes, choux et jardinage.

	En centièmes.
Azote nitrique.....	6.5
Acide phosphorique { assimilable.....	5.0
Acide phosphorique { insoluble.....	1.5
Potasse.....	8.0
Soude	9.0
Chaux..	14.8

A la dose de 400 à 1,200 kilos à l'hectare.

L'engrais complet C est moins riche en azote que le précédent, et renferme seulement 4 kilos d'azote nitrique, la même quantité d'acide phosphorique que A et B, mais 14 de potasse; on le destine aux pommes de terre et aux vignes sur lesquelles on suppose que la potasse exerce son maximum d'action.

L'engrais complet D, pour lin, maïs, sorgho, topinambours et navets, est combiné de façon à ne renfermer que 2 kilos d'azote nitrique, mais on y trouve 8 kilos d'acide phosphorique assimilable, 2 kilos d'acide phosphorique insoluble, 8 kilos de potasse, 20 kilos de chaux.

Comme il existe beaucoup de terres sur lesquelles les engrais de potasse n'ont aucune influence, on a proposé deux engrais E et F, renfermant seulement de l'azote ammoniacal ou nitrique, et des superphosphates.

L'engrais G, destiné aux prairies artificielles, aux légumineuses, ne renferme pas d'azote, mais seulement de l'acide phosphorique, de la potasse et de la chaux.

On voit qu'en réalité les formules d'engrais varient très peu et que la nature des plantes cultivées, à l'exception des légumineuses qui ne bénéficient que très médiocrement des engrais azotés, ne peut être un guide sûr dans l'acquisition des engrais.

Comme ces engrais sont coûteux, il convient cependant de ne pas s'imposer les lourdes dépenses qu'entraîne l'acquisition des quantités considérables conseillées plus haut, si elles ne doivent pas être compensées et au-delà, par une augmentation correspondante des recoltes. Cherchons donc à préciser le mode d'emploi des engrais chimiques.

§ 265. — Emploi exclusif des engrais chimiques.

Ce mode de culture est assez rare; si on conçoit qu'une exploitation voisine d'une grande ville trouve avantage à vendre ses pailles et ses fourrages et renonce à toute spéculation animale, elle trouve habituellement dans cette ville des fumiers à acheter; en outre on est toujours obligé d'entretenir des chevaux pour les charrois, des bœufs pour les travaux intérieurs, des porcs pour utiliser tous les déchets de l'exploitation, souvent même des moutons pour pâturer des chaumes, de telle sorte qu'en réalité il est rare qu'on cultive absolument sans fumier; mais il arrivera certainement, dans les conditions que nous venons d'indiquer, que le fumier sera tout à fait insuffisant et qu'il faudra acheter des engrais commerciaux et notamment des engrais chimiques.

Cette nécessité reconnue, convient-il de s'imposer l'acquisition de quantités formidables de ces engrais? Évidemment non, si l'épandage des agents de fertilité qui font défaut dans le sol est très

avantageux, si le supplément de récolte qu'ils déterminent paie largement l'engrais employé; il n'en est plus ainsi quand on ajoute une matière assez abondante dans le sol, pour qu'une nouvelle dose ne produise plus d'effet, dans ce cas l'acquisition devient onéreuse et le compte se solde en perte.

Les cultivateurs doivent toujours avoir présente à l'esprit la définition de l'engrais; ils doivent se rappeler que c'est la matière utile à la plante qui manque au sol; cette distinction est d'autant plus utile à faire que les engrais chimiques étant formés de diverses matières vendues séparément, on peut n'acquérir que celles dont l'efficacité est très vraisemblable. Il importe donc avant d'acheter des engrais chimiques de savoir quelles actions chacun d'eux exerce sur le sol du domaine cultivé; on y réussit par l'installation d'un champ d'expériences.

Disposition d'un champ d'expériences. — Cette création, qui ne présentait pas d'intérêt autrefois, quand on ne disposait que d'un engrais unique comme le fumier de ferme, dont on ne pouvait pas régler la composition à volonté, est nécessaire quand il s'agit de cultiver avec des engrais chimiques.

Pour avoir des résultats qui ne s'écartent pas trop de ceux que fournissent les grandes pièces du domaine, il est nécessaire de ne pas donner aux parcelles d'expériences des surfaces trop restreintes, un are est une bonne dimension; des parcelles plus petites, surtout lorsqu'elles sont séparées les unes des autres par des sentiers, fournissent des rendements exagérés; les plantes placées sur les bords acquièrent une vigueur exceptionnelle due à la facilité qu'ont leurs racines à s'approvisionner dans la terre qui forme chemin. Cet inconvénient s'atténue avec des parcelles d'un are; il subsiste cependant, et la seule manière d'opérer d'une façon tout à fait rigoureuse est de ne pas séparer les parcelles d'expériences les unes des autres par des terres nues, mais d'ensemencer également les bandes de séparation. C'est ainsi que nous avons opéré chez M. Porion, à Wardrecques et à Blaringhem, et dans ces conditions, les rendements des parcelles sont exactement les mêmes que ceux des grandes pièces qui ont reçu les mêmes fumures.

A côté de cet avantage, se trouve le très grave inconvénient que les comparaisons deviennent très difficiles et qu'il faut absolument avoir recours aux pesées pour apprécier l'influence des engrais; or ces pesées, surtout quand il s'agit de céréales, deviennent très laborieuses; il faut amener à la machine à battre, dans une petite voi-

ture, la récolte de chacune des parcelles, battre cette récolte séparément, arrêter la machine après chaque battage, la nettoyer, c'est une perte de temps et d'argent qu'on doit supporter quand il s'agit d'expériences rigoureuses, mais que souvent ne peut s'imposer un cultivateur pressé de rentrer sa moisson.

Le champ d'expériences ayant été tracé, sera divisé par des sentiers de 25 à 30 centimètres en parcelles d'un are qui seront employées comme suit :

1-2.	Deux parcelles.	Nitrate de soude seul.
3-4.	—	Sulfate d'ammoniaque seul.
5-6.	—	Superphosphate seul.
7-8.	—	Chlorure de potassium seul.
9-10.	—	Nitrate et superphosphate.
11-12.	—	Sulfate d'ammoniaque et superphosphate.
13-14.	—	Nitrate et chlorure de potassium.
15-16.	—	Sulfate et chlorure de potassium.
17-18.	—	Superphosphate et chlorure de potassium.
19-20.	—	Nitrate, superphosphate et chlorure de potassium.
21-22.	—	Sulfate, superphosphate et chlorure de potassium.
23-24.	—	Sans engrais.

Il est nécessaire que les deux parcelles qui reçoivent le même engrais ne soient pas voisines l'une de l'autre; quelque soin qu'on apporte à choisir pour le champ d'expérience une pièce bien homogène, on constate bien souvent d'un point à l'autre des différences, qu'on serait porté à attribuer à l'action des engrais, tandis qu'elles sont dues à de tout autres causes : profondeur du sol, passage d'eaux souterraines, etc.

Quand on apporte à un sol un élément qui y fait défaut, la récolte parle d'elle-même, et d'ordinaire, quand il s'agit, non d'une recherche scientifique, mais simplement d'une indication sur la marche à suivre, les pesées ne sont pas indispensables ; si l'engrais complémentaire est réellement efficace, s'il est avantageux, on le reconnaît au simple aspect du champ d'expériences.

On verra notamment, en comparant les parcelles les unes aux autres, quel est l'élément qui fait défaut, si 1 et 2 sont presque égaux à 9 et 10, c'est que les phosphates ne manquent pas; si c'est l'inverse qui se produit, c'est au contraire l'acide phosphorique qui manque, et si par hasard le sol était assez enrichi d'azote, on verrait que 5 et 6 égaleraient 9 et 10.

Pour ne pas juger à faux, dans le cas des céréales, il est indispensable cependant de ne conclure qu'à la maturité, le nitrate de soude et souvent aussi le sulfate d'ammoniaque donnant à la plante

une coloration verte très prononcée, qui au premier abord semble absolument favorable, mais qui parfois n'est pas un indice suffisant pour affirmer qu'on obtiendra une bonne récolte; la plante pousse beaucoup en paille et parfois la verse survient, de telle sorte que la récolte de grain est plus abondante, sur les parcelles où l'on n'a pas employé d'engrais complémentaire que sur celles qui en ont reçu. Les dérangements sont considérables, on peut les diminuer en comptant les gerbes et en n'en battant que quelques-unes que donnent les champs d'expériences quand ils sont conduits jusqu'aux pesées finales des récoltes; au reste ces dérangements sont largement compensés, car les indications du champ d'expériences permettent d'éviter de lourdes dépenses d'engrais inutiles, ou au contraire de réaliser des bénéfices notables par l'emploi judicieux des engrais complémentaires.

Quand le champ d'expériences aura indiqué quels sont les engrais qu'il convient d'employer, il restera à préciser à quelles doses il faut les répandre.

Doses d'engrais chimiques à employer. — Les doses d'engrais à employer sont assez fortes, au moins à Rothamsted, sir J. B. Lawes a donné quelques exemples intéressants de l'influence qu'exercent des doses croissantes d'engrais azoté, mélangé à une quantité suffisante d'engrais minéral composé de superphosphate de chaux et de sulfates alcalins et bien que nous ayons déjà donné quelques-uns des éléments du tableau suivant dans le cours de cet ouvrage, j'ai cru devoir le reproduire de nouveau. On a obtenu :

Blé, 27 ans (1852-1878).

	Moyenne annuelle de récoltes de blé.	
	Grain. Hect.	Paille. Kil.
Engrais minéral complexe seul.....	14.1	1691
— 224 kil. sels ammon.....	22.0	2850
— 448 —	29.8	4229
— 672 —	33.0	5049

Orge, 8 ans (1852-1857).

Superphosphate de chaux seul.....	28.3	2067
— — 224 kil. sels amm..	40.8	3546
— — 448 —	44.3	4260

On voit que, pour le blé, l'emploi de 224 kilos sels ammoniacaux produit une augmentation de $22 - 14.1 = 7.9$ hectolitres; en doublant la dose d'engrais azoté, on obtient $29.8 - 14.1 = 15.7$, c'est-

à-dire que la récolte est juste double de celle qu'a donnée l'engrais employé à dose moitié moindre, mais quand on triple la dose de sel ammoniacal, on obtient 33.0 — 14.1 = 18.9 hectolitres de supplément qui est bien loin de 3 × 7.9 = 23.7 qui représente le triple de l'augmentation qui a produit l'addition de 224 kilos de sels ammoniacaux.

Visiblement une dose d'engrais modérée est plus avantageuse qu'une dose très forte ; c'est ce qui résulte encore de l'expérience sur l'orge citée plus haut : 224 kilos de sels ammoniacaux donnent 40 hectolitres 8 et une dose double : 44 hect. 3, c'est-à-dire que la récolte n'est nullement proportionnelle à la dose d'engrais employé. Je suppose que 400 kilos de sulfate d'ammoniaque ou de nitrate de soude sont les doses les plus considérables qu'il faille employer, même pour la culture des betteraves.

Les doses très fortes de superphosphates n'exercent souvent pas une action plus marquée que des quantités moindres ; à Wardrecques, on a obtenu, à l'hectare, 46.800 kilos de très bonnes betteraves avec 600 kilos de superphosphates et 47.800 kilos de racines avec 1200 kilos.

Si ces quantités exagérées de phosphates n'exercent aucune influence sur le poids de la récolte ou sur sa valeur, il n'en est plus de même de l'excès d'engrais azoté ; dans la culture des betteraves, cet excès est funeste, car les racines se chargent de nitrates qui nuisent à la pureté du jus, si ces betteraves doivent être employées à l'extraction du sucre, qui exercent sur la santé des animaux une influence fâcheuse si elles doivent être consommées.

Mode d'emploi des engrais chimiques. — L'épandage des superphosphates à l'automne ne présente aucun inconvénient, ils persistent dans le sol et ne sont pas entraînés dans les eaux de drainage, il n'en est plus de même pour les engrais azotés ; nous avons dit déjà que le nitrate de soude devait toujours être employé au printemps ; quant au sulfate d'ammoniaque, il est dangereux de le répandre entièrement à l'automne, même sur le blé, car si l'hiver est doux et pluvieux, il peut être nitrifié et complètement perdu, mais quelques praticiens jugent avantageux de le répandre en deux fois : une fraction à l'automne pour donner au blé une grande vigueur, l'autre fraction au premier printemps.

La plupart du temps on répand les engrais chimiques à la volée et on se borne à les enterrer avec un coup de herse. M. Petermann,

directeur de la station de Gembloux (Belgique), juge qu'il est beaucoup plus avantageux, pour la culture des betteraves, d'enfouir l'engrais à une certaine profondeur. En employant, en 1883, un mélange de 500 kilos de nitrate de soude et de 660 kilos de superphosphate, il a obtenu des récoltes très différentes, suivant le mode d'épandage de l'engrais.

Culture des betteraves.

MODE D'EMPLOI DE L'ENGRAIS.	RENDEMENT à L'HECTARE.	AUGMENTATION DE LA RÉCOLTE	
		en kilogr.	en p. 100.
	Kilogr.		
Sans engrais.....	49.310		
Engrais enterré à la herse.....	58.547	9.237	18.73
— à la bêche à 0m,12.	65.726	16.616	33.29
— à la bêche à 0m,22.	69.596	20.286	41.14
— dans la ligne	61.392	12.082	24.30

L'auteur résume ses essais par les nombres suivants :

	Augmentation en centièmes, obtenue dans la récolte des betteraves, par l'emploi d'un même engrais enterré	
	à la herse.	par un labour.
1881.....	27.9	85.1 et 118.3
1882.....	3.1	66.4 79.3
1883.....	18.7	33.3 41.1

Il en résulte que, même pendant les années pluvieuses, le nitrate de soude ne descend pas aisément dans une terre forte jusqu'aux couches dans lesquelles s'enfoncent les racines pivotantes des betteraves et qu'il y a grand avantage à leur épargner une partie du chemin en enterrant l'engrais plus profondément (1).

Pertes d'azote nitrique dans les mélanges de nitrate et de superphosphate. — Dans l'expérience de M. Petermann les deux engrais employés sont le nitrate de soude et les superphosphates; lorsque ces derniers sont fabriqués depuis peu de temps, ils renferment beaucoup d'acides libres, et il arrive que si on les mélange avec des nitrates ceux-ci soient décomposés et que l'engrais perde une partie de sa valeur ; M. Andouard, directeur de la station agronomique de Nantes, en a donné des preuves décisives.

(1) *Ann. agron.*, t. X, p. 241.

Un engrais formé par un mélange de superphosphate et de nitrate de soude contenait :

	Azote nitrique.
6 juin	6.17
14 —	5.74
26 —	4.90
30 —	4.30
4 juillet	3.86
12 —	3.78

Les fabricants d'engrais ne doivent donc employer à la composition des mélanges que des superphosphates déjà anciens, dans lesquels la plus grande partie des acides est saturée, et les cultivateurs devront s'assurer, à la réception d'un engrais composé renfermant à la fois du nitrate de soude et des superphosphates, qu'ils ne perçoivent aucune odeur nitrique ; si cette odeur se manifestait, il faudrait ou refuser la livraison, ou au moins prendre un échantillon pour constater si la masse présente bien la composition annoncée et se hâter en outre d'employer l'engrais ; si le sol est un peu calcaire, la saturation se fait très vite et la décomposition du nitrate de soude cesse de se produire.

Inconvénients de l'emploi exclusif des engrais chimiques. — Ces inconvénients sont de deux ordres : 1° les engrais chimiques exercent une action fâcheuse sur les propriétés physiques du sol ; 2° ils ne présentent qu'une efficacité nulle ou très faible.

Nous savons mal encore quelles modifications surviennent dans les propriétés de la matière colloïdale, quand elle est soumise à certaines actions ; on a observé cependant depuis longtemps dans les laboratoires que quelques matières gélatineuses se modifient profondément sous diverses influences : la silice en gelée est soluble dans les acides, desséchée, elle y est complèment insoluble ; l'argile qui reste en suspension dans l'eau pure se coagule sous l'influence des sels et se sépare des liquides où jusque-là elle était suspendue.

Or, sur certains sols les engrais chimiques agissant sur les argiles déterminent des transformations analogues, les terres se lissent, durcissent, les travaux deviennent difficiles, les terres se gâtent comme lorsqu'elles sont labourées à contre-temps ; ces inconvénients ne se manifestent pas partout, les terres de Rothamsted paraissent insensibles à cette influence fâcheuse, tandis que M. Michel Perret dans l'Isère a été obligé de renoncer à l'emploi exclusif des engrais chimiques ; M. Maercker dans un article où il discute les avantages respectifs du fumier et des engrais

chimiques en cite un autre exemple : à Benkendorf, l'emploi exclusif des engrais chimiques avait amené le sol à un état tel que les travaux étaient devenus très difficiles. On a pu cependant rétablir cette terre à un état favorable par un chaulage énergique de 9000 kilos à l'hectare, opération fort coûteuse et qui diminue singulièrement les avantages qu'on avait pu tirer de l'emploi des engrais chimiques (1).

Ceux-ci sont-ils toujours aussi efficaces qu'on l'a mainte fois assuré ? S'il est des exemples de réussite, les échecs ne sont pas moins nombreux ; à Grignon, j'ai essayé à bien des reprises différentes de cultiver avec des engrais chimiques seuls, sans fumier, j'ai toujours du y renoncer ; au reste, il y a maintenant plus de vingt-cinq ans que les engrais chimiques ont été prônés avec une extrême ardeur et cependant le nombre des cultivateurs qui se sont décidéesà baser leur production sur l'emploi exclusif des engrais salins est très restreint ; les personnes qui sur la foi d'annonces pompeuses et d'écrits enthousiastes se sont lancés dans cette voie, ont souvent échoué misérablement, et un certain discrédit s'est pendant plusieurs années répandu sur l'emploi des engrais chimiques.

Ils sont cependant extrêmement précieux quand ils sont judicieusement employés et qu'on les utilise comme engrais complémentaires concurremment avec le fumier ou les engrais verts.

§ 266. — Emploi simultané du fumier de ferme et des engrais chimiques.

L'emploi simultané de ces deux engrais conduit aux grandes récoltes, et cela pour plusieurs raisons.

Le fumier est formé des résidus de la digestion des animaux qui consomment des aliments récoltés sur le domaine, résidus excrémentitiels reçus sur des pailles également fournies par le domaine. Supposons que le sol considéré soit pauvre en acide phosphorique ou en potasse, visiblement la petite quantité de ces éléments que renferment les fourrages sera utilisée par les animaux qui n'en laisseront échapper que des traces, les pailles elles-mêmes perdront au moment de la maturation tout ce que les plantes auront pu recueillir de ces éléments nécessaires à l'élaboration des grains ; le fumier sera donc pauvre lui-même en acide phosphorique ou en

(1) *Ann. agr.*, t. XVII, p. 517.

potasse et les plantes ne deviendront vigoureuses que lorsqu'elles recevront de l'extérieur des phosphates ou des sels de potasse.

En outre, bien que l'azote ammoniacal ou organique du fumier puisse être assimilé, c'est après nitrification que cet azote présente le plus d'efficacité, or nous avons vu que le fumier ne laisse nitrifier son azote que lorsque les conditions d'humidité et de température sont convenables; si le printemps est sec et froid, cette nitrification ne se produit que très incomplètement au moment même où la jeune plante a besoin d'une alimentation copieuse pour se développer vigoureusement; on conçoit, par suite que l'addition d'une faible quantité de nitrate de soude puisse exercer une influence décisive.

Nous avons donné déjà dans le chapitre consacré à l'étude du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque des exemples des récoltes obtenues par l'emploi simultané du fumier et des engrais chimiques, nous pouvons y ajouter encore quelques résultats empruntés aux cultures de Blaringhem.

En 1885, on a recueilli à l'hectare en blé, à épi carré :

	Grain. kil.	Paille. kil.
Avec fumier seulement	3640	5900
	3750	6000
Avec fumier { sulfate d'amm. et superph.	4900	8800
— — —	4800	8600
Avec fumier { azotate de soude et superph.	4750	10100
— — —	4750	8400
Avec fumier { sulfate d'amm., superph. et chlorure de potassium	4650	8400
sulfate d'amm., superph. et chlorure de potassium	4850	9500

Ainsi dans cette expérience les admirables rendements de 48 et 49 qtm. de grains correspondant à 57.6 et à 58.8 hectolitres ont été obtenus avec une fumure renfermant outre du fumier des engrais chimiques; la terre de Blaringhem est très argileuse, la potasse n'y fait pas défaut, et l'addition du chlorure de potassium aux deux autres engrais n'a présenté aucune efficacité.

En 1886, snr le même domaine de Blaringhem, avec du fumier seul on obtenait 41^{qm},4 de grain, et 46^{qm} quand au fumier se sont ajoutés les nitrates et les superphosphates.

En 1887, année moins favorable avec une forte fumure de 34,000 kilos de fumier à l'hectare, le blé à épi carré a rendu à Blaringhem 32^{qm},5, et 38^{qm},2 quand au fumier on a ajouté des superphosphates.

Il n'est pas besoin d'insister davantage, d'autant plus que l'habitude d'ajouter à une bonne fumure de fumier pour betteraves une fumure complémentaire, soit de superphosphate, soit de nitrate de soude, soit de l'un et de l'autre, est aujourd'hui reconnue si avantageuse qu'elle est pratiquée par nombre de cultivateurs; ils emploient aussi avec succès une fumure très modérée de nitrate de soude, ou de sulfate d'ammoniaque pour blé, sur une forte arrière-fumure de fumier donné aux betteraves; à Grignon, où la fumure directe du blé détermine aisément la verse, j'obtiens mes meilleures récoltes de blé après betteraves, en donnant seulement de 150 à 200 kilos de nitrate de soude.

Le très grand avantage que présentent les engrais chimiques, c'est d'offrir séparément les divers engrais de fertilité, azote, acide phosphorique et potasse, on n'ajoute que l'élément qui fait défaut, aussi je vois que presque tous les cultivateurs, de même que presque tous les syndicats, achètent simplement les matières premières : nitrate de soude ou sulfate d'ammoniaque, comme engrais azotés, superphosphates ou scories de déphosphoration, chlorure ou sulfate de potassium, comme engrais phosphatés ou potassiques, et font de moins en moins usage des engrais complets ou intensifs, présentant des formules qui ne s'appliquent avantageusement que sur des sols où manquent à la fois tous les éléments de fertilité.

§ 267. — Emploi simultané des engrais verts et des engrais chimiques.

L'emploi des engrais verts remonte, ainsi qu'il a été dit déjà, à l'antiquité la plus reculée, il a été préconisé de nouveau depuis quelques années par M. Georges Ville, sous le nom de *sidération*; la découverte d'Hellriegel et Wilfarth, sur la fixation de l'azote par les légumineuses, enfin les recherches récentes, montrant combien sont considérables les pertes de nitrates que subissent les terres au moment des grandes pluies d'automne, ont appelé l'attention des cultivateurs sur les cultures dérobées pour engrais vert.

Si cette pratique se généralise, elle ne pourra être avantageuse qu'à la condition de s'appuyer sur l'emploi des engrais chimiques. Il est visible que les engrais verts, si ce sont des légumineuses, apportent au sol une certaine quantité d'azote prélevé sur l'atmosphère, si ce sont les plantes d'autre famille : elles retiennent les nitrates, empêchent les déperditions, mais n'enrichissent le sol

que des éléments puisés dans l'atmosphère qui donnent naissance à de l'humus.

Il n'en est pas tout à fait ainsi du fumier, qui a pour effet de porter sur les terres labourées des matières azotées et minérales, provenant de la prairie, souvent irriguée ostensiblement, ou par des eaux souterraines et prélevant ainsi sur les eaux extérieures, des éléments minéraux étrangers qui enrichissent le domaine; en outre, le fumier présente, nous l'avons dit, une réaction alcaline puissante, si les carbonates de potasse et d'ammoniaque qu'il apporte au sol agissent sur les phosphates qui s'y trouvent, et si, par suite, l'emploi du fumier suffit ou rend souvent inutile l'acquisition des superphosphates, il n'en est plus de même des engrais verts : ce sont, comme il vient d'être dit essentiellement, des engrais azotés et carbonés, ils ne présenteront une complète efficacité qu'avec l'addition de superphosphates et de chlorure de potassium dans tous les sols où l'acide phosphorique et la potasse ne sont pas très abondants.

Il est vraisemblable, en outre, qu'il sera bon d'alterner l'emploi des crucifères à développement rapide comme la moutarde et les légumineuses, celles-ci, on le sait, se refusant à revenir très souvent sur le même sol; et si dans l'assolement, betterave, blé, si fréquent dans la région septentrionale, on fait suivre chaque récolte de blé d'un engrais vert, il est probable qu'il faudra une année employer de la moutarde, ou du colza, et deux ans après du lupin ou de la vesce et continuer cette alternance; si la culture de légumineuses revenait tous les deux ans, peut-être finirait-elle par ne plus se développer que misérablement.

§ 268. — Quantités d'engrais chimique a employer pour compléter les fumures de fumier et d'engrais vert.

Nous supposons, et c'est là, ainsi qu'il vient d'être dit, la condition qui se présente le plus habituellement, que le cultivateur emploie une fumure de fumier de ferme, enfouit une récolte verte après la moisson et qu'au moment de recommencer l'assolement, désirant obtenir le maximum de récolte que sa terre peut donner, il veuille compléter sa fumure avec des engrais chimiques : quelle est la quantité des divers éléments qu'il doit ajouter, tel est le point à discuter dans ce paragraphe.

Visiblement, cette question n'est pas susceptible de recevoir

une réponse générale; chaque cas doit être étudié séparément, car l'engrais soluble ajouté variera :

1° Avec la nature de la récolte à laquelle il est destiné ;

2° Avec le sol sur lequel on opère;

3° Avec la fumure de fumier ou d'engrais vert distribué ;

Composition des récoltes. — Le premier point est facile à connaître, nous possédons actuellement un grand nombre d'analyses des plantes cultivées et nous avons transcrit cette composition dans le tableau ci-joint : la teneur en azote, en acide phosphorique, en potasse et en chaux des plantes les plus habituellement cultivées en France y est donnée pour un poids de 1000 kilos.

Calcul des engrais nécessaires à une récolte de 40.000 kilos de betteraves. — Nous supposons que le cultivateur cherche à obtenir 40.000 kilos de betteraves à sucre; quels sont les éléments que la terre devra renfermer pour les produire?

Si nous consultons le tableau, nous trouvons que 1000 kilos de racines correspondent à 500 kilos de feuilles; que par conséquent nous obtiendrons les éléments nécessaires à une récolte de 40,000 kilos de racines en multipliant les chiffres relatifs à la composition de 1000 kilos de racines par 40 et ceux relatifs à la composition de 1000 kilos de feuilles par 20; nous aurons ainsi :

Exigences d'une récolte de 40 000 kilos de betteraves à sucre.

	Racines.	Feuilles.	Récolte totale.
Azote.....	$1.6 \times 40 = 64$	$3.0 \times 20 = 60$	$= 124$
Ac. phosphorique.	$1.1 \times 40 = 44$	$1.0 \times 20 = 20$	$= 64$
Potasse.....	$4.0 \times 40 = 160$	$4.0 \times 20 = 80$	$= 124$
Chaux.....	$0.5 \times 40 = 20$	$3.6 \times 20 = 72$	$= 92$

Ces exigences étant établies, voyons comment notre sol va pouvoir les satisfaire.

Azote. — La méthode de calcul souvent employée, dans laquelle on se borne à répandre une quantité de fumier et d'engrais chimique telle, que la somme de l'azote, par exemple, qu'ils renferment corresponde aux exigences des récoltes est inexacte pour deux raisons différentes.

D'abord parce qu'on ne tient pas compte des ressources que le sol fournit par lui-même et qui, dans les terres arrivées à un haut degré de fertilité sont considérables, ensuite parce que la composition de l'engrais distribué n'indique pas en général la fraction des matières fertilisantes qu'il renferme, qui sera utilisée par la récolte; on ne peut supposer par exemple que tout l'azote contenu

Teneur en principes fertilisants de 1000 kilos de plantes de grande culture.

NATURE DES RÉCOLTES.		AZOTE.	ACIDE PHOSPHORIQUE.	POTASSE.	CHAUX.	RAPPORT du poids des organes.
Betteraves à sucre....	Racines.....	1.6	1.1	4.0	0.5	1.0
	Feuilles.....	3.0	1.0	4.0	3.6	0.5
Betteraves fourragères.	Racines.....	1.8	0.8	4.3	0.4	1.0
	Feuilles.....	3.0	0.8	4.3	1.7	0.5
Carottes.....	Racines.....	2.1	1.1	3.2	0.9	1.0
	Feuilles.....	5.1	1.0	3.7	8.6	0.3
Panais.....		3.8	2.1	4.7	»	»
Navets ou turneps	Racines.....	2.0	1.1	2.5	0.8	1.0
	Feuilles.....	3.0	1.3	3.2	0.6	0.6
Rutabagas.....	Racines.....	2.5	1.4	4.0	0.9	1.0
	Feuilles.....	3.5	2.6	3.6	8.4	0.5
Pommes de terre.....	Tubercules...	3.2	1.8	5.6	0.2	1.0
	Fanes.....	5.0	1.0	3.0	5.0	0.23
Topinambours.....	Tubercules...	3.2	1.4	3.5	0.5	1.0
	Fanes sèches.	4.3	0.7	4.1	9.1	0.17
Froment.....	Grain.....	21.04	8.94	5.5	0.6	1.0
	Paille.....	4.8	3.04	5.0	2.6	2.0
Seigle.....	Grain.....	17.6	8.2	5.4	0.5	1.0
	Paille.....	4.0	2.5	8.0	3.6	2.0
Orge.....	Grain.....	15.2	7.2	4.8	0.5	1.0
	Paille.....	4.8	1.9	0.3	3.3	2.0
Avoine.....	Grain.....	19.2	5.5	4.2	1.0	1.0
	Paille.....	4.0	2.8	9.7	3.6	2.0
Maïs.....	Grain.....	16.0	5.5	3.3	0.3	1.0
	Paille.....	4.8	3.8	16.6	5.0	1.5
Sarrasin.....	Grain.....	17.2	6.1	4.5	1.0	1.0
	Paille.....	7.8	1.8	12.3	19.0	1.0
Haricots.....	Grains.....	41.5	9.4	14.0	2.0	1.0
	Tiges sèches..	10.4	3.8	10.7	18.6	1.0
Pois.....	Grains.....	35.8	8.8	9.8	1.2	1.0
	Tiges sèches..	10.4	3.8	10.7	18.6	2.0
Féverolles.....	Grains.....	40.6	11.6	12.0	1.5	1.0
	Tiges sèches..	16.3	4.1	20.0	13.5	1.0
Lentilles.....	Grains.....	38.1	5.2	7.7	1.0	1.0
	Tiges sèches..	10.1	4.8	5.2	20.0	1.5
Colza.....	Grain.....	31.0	16.4	8.8	5.2	1.0
	Paille.....	5.0	2.7	9.7	10.1	1.6
	Siliques.....	8.3	3.6	5.7	33.8	0.7
Pavot (œillette).....	Graines.....	28.0	16.4	7.1	18.5	1.0
	Paille.....	4.0	2.3	20.0	15.0	2.5
Lin.....	Grains.....	32.0	13.0	10.4	2.7	1.0
	Tiges.....	4.8	4.3	10.0	8.3	6.6
Trèfle rouge (foin).....		20.0	5.6	19.5	19.2	»
Luzerne (foin).....		20.0	5.1	15.2	28.8	»
Sainfoin (foin).....		18.0	4.7	17.9	14.6	»
Vesces (foin).....		22.7	6.2	20.0	19.3	»
Prairie naturelle (foin).....		13.1	3.5	16.0	7.7	»

dans la fumure de fumier de ferme s'y trouve à l'état assimilable. C'est là, au reste la grande difficulté que présente le calcul des engrais complémentaires. Si, en effet, nous cherchons à quelles sources les récoltes puisent leurs aliments nous trouvons :

1° La terre elle-même, elle subvient à l'alimentation, par ses nitrates surtout, mais sans doute également par ses principes azotés solubles.

2° Le fumier, dont l'azote se nitrifie et devient assimilable, mais qui renferme en outre des sels ammoniacaux et des matières azotées solubles qui entrent pour une part inconnue dans l'alimentation.

3° Les engrais verts pour lesquels on peut répéter les mêmes observations.

4° Enfin les engrais complémentaires azotés ne renfermant que de l'azote assimilable, mais dont une fraction encore inconnue est utilisée. On conçoit qu'aborder un problème dans lequel existe un si grand nombre d'inconnus présente des difficultés telles qu'aucune solution certaine ne pourra être donnée ; faut-il renoncer cependant à le poser ; nous ne le pensons pas. C'est en montrant nettement quels sont les points encore obscurs qu'on a l'espoir de susciter les travaux qu'il est encore nécessaire d'exécuter pour éclairer complètement un sujet de première importance.

Les aliments azotés sont ou bien des nitrates et des sels ammoniacaux ou bien des matières azotées assimilables. Il n'y a pas lieu, en général, de distinguer séparément les nitrates et les sels ammoniacaux, car dans les terres saines, l'ammoniaque ne persiste pas, elle est transformée; nous pouvons donc réduire nos investigations à deux matières : les nitrates et les matières organiques assimilables.

Reprenons donc les sources d'aliments azotés et voyons ce que chacune d'elles peut fournir.

La terre donne des nitrates et l'analyse des eaux de drainage d'une terre nue poursuivie pendant plusieurs années peut conduire déjà à des probabilités sur la quantité d'azote nitrique que par lui-même le sol fournira à la récolte. Ces quantités sont extrêmement variables d'une terre à une autre et même d'une saison à une autre.

Si nous supposons que notre calcul s'applique à une culture de betteraves, nous ne pouvons prendre que les nitrates produits pendant la saison active s'étendant de fin mars au milieu d'octobre ; or, d'après les renseignements que nous possédons actuellement, ces quantités seraient les suivantes.

		Azote nitrique par hectare et par saison.
	Terres fortes.	kil.
Angleterre...	Rothamsted (terre épuisée) (moy. de 3 ans)....	15.1
Pas-de-Calais.	Wardrecques (en bon état) (moy. de 2 ans)....	59.5
Nord.....	Blaringhem (en bon état) (moy. de 2 ans).....	65.3
	Terre forte riche en matières organiques.	
Puy-de-Dôme.	Marmilhat (moy. de 2 ans).....	30.2
Id.	Palbost (moy. de 2 ans).....	27.2
	Terre légère.	
Seine-et-Oise..	Grignon (1890) en bon état.....	44.5
Id.	Id. (moy. de 2 ans) épuisée.....	32.1

Ces nombres varient, comme on voit, entre des limites très étendues, les terres amenées à un haut degré de fertilité par de copieuses fumures comme celles de Wardrecques et de Blaringhem donnent 60 kilogs d'azote nitrique pendant une saison, tandis que la terre de Rothamted restée longtemps en expériences sans fumure n'en fournit que 15 ; les différences sont donc énormes d'une terre à une autre ; elles le sont également d'une saison à l'autre ; nous avons exposé plus haut (page 403) les conditions favorables à la nitrification, nous avons vu combien est grande l'influence de la température du sol, celle de l'humidité : pendant le mois d'octobre 1889, la terre de Grignon sans culture a donné 49 kilogs d'azote nitrique, en 1890 on n'a recueilli que 10 ; les variations sont donc excessives, et impossibles à prévoir au début de la saison.

Quoi qu'il en soit, on voit que si on opère sur une terre comme celle de la Limagne d'Auvergne, où la nitrification est faible, il y aura moins de chances d'obtenir du sol même, une forte proportion d'azote nitrique que de terres fertiles comme celles du Nord, que de terres moyennes comme celles de Grignon.

Tandis que le cultivateur du Nord pourra supposer, avec toute chance d'être dans la vérité, que sa terre lui fournira 60 kilos d'azote nitrique, celui de la Limagne ne pourra guère compter que sur 28 kilos, et celui d'une terre légère comme celle de Grignon sur plus de 40 kilos.

Essayons maintenant de prévoir quelle sera la fraction de l'azote du fumier qui se transformera également en nitrates.

En déterminant la quantité d'azote nitrique que donne une terre

fumée au fumier de ferme, puis en défalquant des quantités trouvées celles que donnent les terres nues, on peut savoir quelle est la fraction de l'azote du fumier qui prend cette forme essentiellement assimilable d'azote nitrique.

Nous trouvons que pendant l'année 1891, les quatre terres mises en expériences ont donné en azote nitrique pour une tonne de fumier.

	kil.
Wardrecques	0.35
Marmilhat	0.39
Palbost	0.31
Grignon	0.58

Le fumier se nitrifie bien mieux dans les terres légères que dans les terres fortes ; nous en avons déjà donné des exemples (p. 713).

Si la fumure de fumier pour betteraves est de 30 tonnes, il faudra, pour avoir la quantité d'azote nitrique formé, multiplier par 30 les nombres précédents et on aurait :

Azote nitrique formé pendant la saison active par 30 tonnes de fumier.

Wardrecques	10k,5
Marmilhat	11 ,7
Palbost	9 ,3
Grignon	17 ,4

Si on supposait que les betteraves ne prennent que de l'azote nitrique, on trouverait donc par hectare :

Wardrecques	60.0 + 10.5 = 70k5
Marmilhat	30.2 + 11.7 = 41.9
Palbost	27.2 + 9.3 = 36.5
Grignon	44.5 + 17.4 = 53.9

quantités bien éloignées des 124 kilos d'azote que nous avons reconnu nécessaire et l'hypothèse : l'azote nitrique seul est efficace, nous conduirait à une dépense formidable de nitrate de soude puisqu'en supposant que tout son azote soit utilisé, il faudrait en apporter à Wardrecques $124 - 70.5 = 53^{k},5$, c'est-à-dire ce que renferment $\frac{53.5 \times 100}{16} = 334$, plus de 300 kilos.

L'hypothèse précédente est inexacte et nous avons montré déjà à bien des reprises différentes dans le cours de cet ouvrage, que l'azote organique entre également dans l'alimentation des végétaux : mais il est difficile d'apprécier la fraction de cet azote qui

sera assimilé ; en effet, cet azote ne revêt plus une forme soluble, non retenue par la terre, et nous ne le trouvons plus dans les eaux de drainage.

Il n'est peut-être pas impossible cependant de savoir quelle est la fraction de l'azote organique du sol, du fumier ou des engrais verts qui sera assimilée par les betteraves.

Pour trouver la proportion d'azote du sol, autre que l'azote nitrique qui entre dans l'alimentation de la récolte, nous pouvons peser une récolte de betteraves obtenue sur une terre ayant reçu seulement des engrais salins, du nitrate de soude par exemple, comparer la quantité d'azote contenu dans la récolte, à celle d'azote nitrique renfermé dans les eaux de drainage d'une terre nue de même espèce, puis ajouter à cet azote nitrique, celui du nitrate de soude. Si l'azote de la récolte surpasse celui des eaux de drainage et du nitrate, c'est que l'azote organique du sol est intervenu.

On conçoit de même qu'on puisse employer ce même mode de calcul pour une terre fumée au fumier de ferme ou aux engrais verts et comparer encore l'azote de la récolte à celui d'une terre nue ayant reçu une fumure semblable à celle qui a été appliquée aux betteraves ; si la somme de l'azote nitrique fourni par la terre nue, et le fumier est plus faible que celle que contiennent les betteraves, c'est que l'azote organique du fumier a été utilisé.

Examinons successivement ces différents cas.

A Grignon, en 1887, on a obtenu 20.700 kilos de betteraves sur une parcelle qui avait reçu seulement comme fumure 200 kilos de nitrate de soude.

La récolte renfermait en azote :

Racines.....	$20.7 \times 1.6 = 33^{k}1$
Feuilles.....	$10.0 \times 3.0 = 30.0$
	$63^{k}1$

Les 200 kilos de nitrate ont apporté.....	32 kil. azote.
La terre a dû en fournir.....	40 —
	72 kilos.

Je ne trouve donc aucune trace d'une influence directe, dans la culture de la betterave, de l'azote organique du sol. Ce premier point établi simplifie notre calcul, et nous pouvons croire que dans l'exemple suivant l'azote organique utilisé provient exclusivement du fumier.

La même année 1887, avec 30.000 kilos de fumier et 200 kilos de

nitrate de soude on a obtenu 41.400 kilos de betteraves à sucre; recommençons le calcul :

Racines.....	$41.4 \times 1.6 = 66^k2$
Feuilles.....	$20.0 \times 3.0 = 60.0$
	126^k2
Les 200 kil. de nitrate et la terre ont fourni : azote nitrique.....	72.0
Reste donc à trouver dans le fumier.....	54^k2

Les 30.000 kilos de fumier renfermaient 150 kilos d'azote, ils en ont fourni aux betteraves 54 kilos, c'est-à-dire environ le tiers de l'azote total qu'ils renfermaient, et comme à Grignon 30 tonnes de fumier donnent seulement $17^k,4$ d'azote nitrique, il faut supposer que le fumier a fourni $54 - 17.4 = 36^k,6$ d'azote organique.

Dans un autre cas, observé encore en 1887, 30.000 kilos de fumier sans nitrate ont donné 42.000 kilos de betteraves. La fraction de l'azote du fumier utilisé est encore plus grande.

Pendant une autre année à Grignon en 1890, une terre en bon état a reçu seulement 40 000 kilos de fumier, elle a donné en betteraves à sucre 44 700 kilos renfermant $71^k,5$ d'azote, dans les racines; on n'a pas analysé les feuilles, en supposant que leurs poids fut de 20 000 kilos, à 3 p. 100 d'azote, la récolte eut renfermé $60 + 71^k.5 = 131^k,5$ d'azote.

Si nous supposons que la terre seule ait fourni 40 kilos d'azote nitrique, les 40 tonnes de fumier en auraient donné, $91^k.5$ ou une tonne 2^k3, c'est-à-dire près de la moitié de son azote, puisqu'une tonne renferme habituellement 5 kilos d'azote. La fraction utilisée aurait donc été considérable.

Pour calculer l'efficacité du fumier appliqué aux betteraves dans une terre forte, nous empruntons à MM. Lawes et Gilbert les renseignements suivants.

En moyenne, en 1871, 72 et 73 on a obtenu :

	Racines.	Feuilles.
Avec 35 000 kil. de fumier.....	40.925 kil.	10.870 kil.
Sans engrais.....	17.114 —	4.367 —
Le fumier a donc produit.....	23.821 kil.	6.503 kil.
Contenant azote.....	26 kil.	$19^k,5$

ou en tout : $26.2 + 19.5 = 45^k,7$.

Or les 35 tonnes de fumier renfermaient 175 kilogr. d'azote d'où

on voit que la fraction de l'azote utilisable est $\frac{175}{45.7} = 3.8$, c'est-à-dire à peu près le quart de la quantité introduite.

Nous avons vu que dans les terres fortes, nous n'avons recueilli que 0ᵏ,35 d'azote nitrique pour une tonne de fumier renfermant 5 kilos d'azote, le rapport de l'azote nitrifié à l'azote total est donc seulement de $\frac{500}{35} = 14$ c'est-à-dire infiniment plus faible que celui qu'on trouve par la méthode directe employée plus haut.

Bien que le calcul de la fraction de l'azote utilisable du fumier présente une grande incertitude qu'il soit variable d'une saison à l'autre, nous admettrons que dans une terre légère le tiers de cette azote sera employé et que le quart sera seulement utilisé dans une terre forte.

Nous manquons de renseignements précis sur la fraction de l'azote contenu dans les engrais verts enfouis qui sera assimilée; cependant nous avons vu (page 597) que M. Muntz avait trouvé autant d'efficacité à une fumure de luzerne enfouie qu'à une fumure de nitrate de soude et comme dans les cas les plus favorables observés à Rothamsted la moitié de l'azote d'une très forte fumure de nitrate a passé dans la récolte; on peut supposer que la moitié de l'azote de l'engrais vert sera utilisé.

Essayons en utilisant les considérations précédentes de découvrir quelle est la quantité de nitrate de soude qu'il convient d'ajouter à un sol comme celui de Grignon, qui aura reçu 30.000 kilos de fumier et une fumure verte pour obtenir 40.000 kilos de betteraves. Le calcul se présenterait de la façon suivante :

Exigence de la récolte.....	140 kil. azote.
La terre fournit : azote nitrique.....	40 kilos.
30.000 kil. de fumier renfermant 150 kil. donnent $\frac{150}{3} = 50$ azote nitrique et organique.....	50 —
5000 kilos de fumure verte renfermant 50 kilos d'azote en fournissent $\frac{50}{2}$.....	25 (?)
Azote fourni par la terre, le fumier et l'engrais vert.....	115 kilos.
A fournir par le nitrate de soude : 140 — 115 = 25. Il faut donc ajouter 200 kil. de nitrate qui donneront.....	32 —
	147 kilos.

Si le fumier de ferme avait été plus abondant, si les engrais

avaient donné une récolte plus forte, nous aurions pu trouver dans ces engrais une somme totale d'azote telle que l'appoint de nitrate de soude nécessaire fût devenu plus faible, se réduisant à 100 ou même à 50 kilos.

Les chiffres précédents sont naturellement tout à fait approximatifs, car les coefficients par lesquels sont multipliés les teneurs en azote du fumier et des engrais verts ne sont pas établis avec certitude; aussi je ne donne les renseignements précédents que comme un exemple d'une méthode à suivre; ce que nous devons nous efforcer de trouver ce sont précisément ces coefficients; si nous les possédions pour un nombre de terres suffisant, nous pourrions construire une courbe partant des terres fortes à matière organique abondante comme les terres de Limagne, arrivant aux terres légères comme celles de Grignon ou à d'autres sols nitrifiant encore plus facilement et on trouverait ainsi des nombres à introduire dans les calculs plus précis que les précédents. Nous croyons fermement que les travaux dirigés dans ce sens présenteraient une haute utilité.

En résumé, suivant nous, que les engrais chimiques azotés ne doivent être employés que comme engrais complémentaires; ils sont tellement solubles, tellement à la merci d'une pluie abondante, qu'un sol qui ne reçoit pas d'autre fumure est exposé à ne plus pouvoir soutenir les récoltes que par ses propres ressources toujours insuffisantes pour conduire aux grands rendements; si au contraire à une bonne fumure de fumier et d'engrais vert viennent s'ajouter de faibles appoints d'engrais chimiques, on est à l'abri des pertes qu'occasionnent les averses inopportunes; elles peuvent enlever le nitrate de soude ajouté, mais le fumier produit de nouvelles quantités d'azote nitrique, l'azote organique subsiste et la récolte reste au moins passable.

A. phosphorique. — La récolte de 40 000 kilos de betteraves exige 64 kilos d'acide phosphorique; les 30 000 kilos de fumier apportent 90 kilos environ d'acide phosphosrique assimilable qui paraissent au premier abord absolument suffisants, puisqu'ils dépassent la quantité contenue dans les betteraves, mais il est à remarquer que l'acide phosphorique ne forme pas dans le sol des matières solubles, diffusibles, il est à remarquer en outre que ces phosphates ne se répandent pas uniformément dans le sol, comme le font les nitrates, de telle façon qu'on est conduit à employer les superphosphates comme engrais complémentaire dans les sols qui

ne renferment pas une forte proportion d'acide phosphorique soluble dans l'acide acétique. Quand au contraire, ainsi qu'il a été dit, une fraction notable de l'acide phosphorique est soluble dans les acides faibles, ainsi que cela se présente à Grignon, ou dans la Limagne d'Auvergne, les superphosphates sont inutiles.

Nous avons vu qu'ils sont indispensables dans un grand nombre de terres et notamment à Rothamsted quand on cultive sans fumier, avec des engrais chimiques; pour savoir s'il est encore nécessaire d'en ajouter après une bonne fumure de fumier de ferme, nous pouvons recourir encore aux expériences exécutées à Rothamsted sur les betteraves; or en 1871, 72, 73 on a donné à quelques parcelles, outre du fumier de ferme, une dose énorme de superphosphates, on a obtenu à l'hectare:

	Racines.	Feuilles.
Fumier seul	40.925	10.870
Fumier et superphosphates	37.119	9.791

Il est visible que cet excès d'acide phosphorique n'a produit aucun effet utile.

Il arrive donc souvent que l'addition du superphosphate ou fumier ne produit pas d'effet; quand cependant on cultive sur un sol décidément très pauvre en acide phosphorique, l'addition des phosphates est nécessaire, même après une fumure de fumier de ferme, car dans ce cas, comme il a été dit déjà, le fumier est bien loin de renfermer la haute dose d'acide phosphorique sur laquelle s'appuient nos calculs.

Nous avons donné des exemples de cette utilité des superphosphates ajoutés à une fumure de fumier de ferme dans nos expériences de Blaringhem.

Potasse. — Les 30.000 kilos de notre fumure de fumier apportent au sol environ 150 kilos de potasse; notre récolte exige pour 40 tonnes :

Racines	$40 \times 4 = 160$
Feuilles	$20 \times 4 = 80$
	240

Il nous faut donc 240 kilos de potasse, quantité supérieure à celle qui est apportée, mais la terre fournit habituellement la quantité supplémentaire et, ainsi qu'il a été dit plus haut, l'addition des engrais de potasse est rarement utile.

§ 269. — Calcul des engrais complémentaires pour le blé.

Très habituellement, on ne donne pas au blé de fumure directe de fumier de ferme; quand on fait succéder ainsi que cela arrive souvent dans la région septentrionale, le blé aux betteraves, on se borne à employer au printemps une faible fumure de nitrate de soude et la récolte est suffisamment alimentée.

Il est facile d'en saisir la raison; imaginons que nous voulions obtenir 30 quintaux métriques de grain correspondant à 60 quintaux métriques de paille; nous aurons comme exigence d'azote :

Grain.....	$3 \times 21.0 = 63^{k}0$	azote.
Paille.....	$6 \times 4.8 = 28.8$	—
	91.8	azote.

environ 90 kilos d'azote; or la terre bien fumée l'année précédente a reçu en outre les feuilles des betteraves qui renfermaient, ainsi qu'il a été dit : 60 kilos d'azote; si nous supposons que la moitié de cette quantité soit utilisable, nous aurons pour le compte de l'azote :

Fourni par la terre.....	40 kilos.
Par les feuilles de betteraves.....	30 —
	70 kilos.

On voit que 200 kilos de nitrate de soude apporteront un appoint suffisant.

Nous venons de supposer que le blé arrivait en seconde année après une bonne fumure de fumier; si on le mettait en tête d'assolement, le calcul serait plus difficile; en effet, l'azote organique ne paraît pas exercer sur le blé une influence manifeste.

Dans leurs recherches sur la fraction de l'azote utilisé par les diverses récoltes, MM. Lawes et Gilbert trouvent (page 465) que sur 100 d'azote contenu dans le fumier 14.6 seulement passent dans la récolte de blé. Pour calculer ce que le fumier abandonnera à une récolte de blé, il ne faudrait donc plus prendre le quart de l'azote du fumier mais seulement le septième environ. En s'appuyant sur ce calcul, les quantités de fumier à employer deviendraient énormes, et comme la nitrification du fumier est probablement très irrégulière, très différente d'une année à l'autre, on peut craindre qu'une production exagérée de nitrates ne détermine la verse; il est donc sage de ne donner le fumier au blé en tête d'assolement qu'à faible

dose, tout en complétant la fumure avec des engrais salins, que les considérations précédentes permettent de calculer.

CHAPITRE XIII

COMMERCE ET ANALYSE DES ENGRAIS.

Nous croyons utile de reproduire dans ce chapitre la loi qui régit le commerce des engrais et les règlements qui déterminent la forme sous laquelle les échantillons doivent être prélevés, qui fixent enfin les méthodes à employer pour effectuer l'analyse des engrais.

Nous reproduisons textuellement la description des procédés de dosage à moins qu'ils ne soient la répétition de ceux qui sont insérés dans le corps de l'ouvrage, auquel cas nous renvoyons nos lecteurs aux pages où se trouvent indiqués ces procédés.

LOI

concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais.

Le Sénat et la Chambre des députés ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Art. 1er. — Seront punis d'un emprisonnement de six jours à un mois et d'une amende de 50 à 2,000 francs ou de l'une de ces deux peines seulement :

Ceux qui, en vendant ou mettant en vente des engrais ou amendements, auront trompé ou tenté de tromper l'acheteur, soit sur leur nature, leur composition ou le dosage des éléments utiles qu'ils contiennent, soit sur leur provenance, soit par l'emploi, pour les désigner ou les qualifier, d'un nom qui, d'après l'usage, est donné à d'autres substances fertilisantes.

En cas de récidive dans les trois ans qui ont suivi la dernière condamnation, la peine pourra être élevée à deux mois de prison et 4,000 francs d'amende.

Le tout sans préjudice de l'application du paragraphe 3 de l'article 1er de la loi du 27 mars 1851 relatif aux fraudes sur la quantité des choses livrées, et des articles 7, 8 et 9 de la loi du 23 juin 1857 concernant les marques de fabrique et de commerce.

Art. 2. — Dans les cas prévus à l'article précédent, les tribunaux peuvent, en outre des peines ci-dessus portées, ordonner que les jugements de condamnation seront, par extraits ou intégralement, publiés dans les journaux qu'ils détermineront et affichés sur les portes de la maison et des ateliers ou magasins du vendeur et sur celles des mairies de son domicile et de celui de l'acheteur.

En cas de récidive dans les cinq ans, ces publications et affichages seront toujours prescrits.

ART. 3. — Seront punis d'une amende de 11 à 15 francs inclusivement ceux qui, au moment de la livraison, n'auront pas fait connaître à l'acheteur, dans les conditions indiquées à l'article 4 de la présente loi, la provenance naturelle ou industrielle de l'engrais ou de l'amendement vendu et sa teneur en principes fertilisants.

En cas de récidive dans les trois ans, la peine de l'emprisonnement pendant cinq jours au plus pourra être appliquée.

ART. 4. — Les indications dont il est parlé à l'article 3 seront fournies, soit dans le contrat même, soit dans le double de commission délivré à l'acheteur au moment de la vente, soit dans la facture remise au moment de la livraison.

La teneur en principes fertilisants sera exprimée par les poids d'azote, d'acide phosphorique et de potasse contenus dans 100 kilogrammes de marchandise facturée telle qu'elle est livrée, avec l'indication de la nature ou de l'état de combinaison de ces corps, suivant les prescriptions du règlement d'administration publique dont il est parlé à l'article 6.

Toutefois, lorsque la vente aura été faite avec stipulation du règlement du prix d'après l'analyse à faire sur échantillon prélevé au moment de la livraison, l'indication préalable de la teneur exacte ne sera pas obligatoire, mais mention devra être faite du prix du kilogramme de l'azote, de l'acide phosphorique et de la potasse contenus dans l'engrais tel qu'il est livré, et de l'état de combinaison dans lequel se trouvent ces principes fertilisants. La justification de l'accomplissement des prescriptions qui précèdent sera fournie, s'il y a lieu, en l'absence de contrat préalable ou d'accusé de réception de l'acheteur, par la production, soit du copie de lettres du vendeur, soit de son livre de factures régulièrement tenu à jour et contenant l'énoncé prescrit par le présent article.

ART. 5. — Les dispositions des articles 3 et 4 de la présente loi ne sont pas applicables à ceux qui auront vendu, sous leur dénomination usuelle, des fumiers, des matières fécales, des composts, des gadoues ou boues de ville, des déchets de marchés, des résidus de brasserie, des varechs et autres plantes marines pour engrais, des déchets frais d'abattoirs, de la marne, des faluns, de la tangue, des sables coquilliers, des chaux, des plâtres, des cendres ou des suies provenant des houilles ou autres combustibles.

ART. 6. — Un règlement d'administration publique prescrira les procédés d'analyse à suivre pour la détermination des matières fertilisantes des engrais, et statuera sur les autres mesures à prendre pour assurer l'exécution de la présente loi.

ART. 7. — La loi du 27 juillet est et demeure abrogée.

ART. 8. — La présente loi est applicable à l'Algérie et aux colonies.

La présente loi, délibérée et adoptée par le Sénat et par la Chambre des députés, sera exécutée comme loi de l'État.

Fait à Paris, le 4 février 1888.

CARNOT.

Par le Président de la République :

Le Ministre de l'agriculture,

VIETTE.

DÉCRET

portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du Ministre de l'agriculture,

Vu la loi du 4 février 1888 concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais, et notamment l'article 6 ainsi conçu :

« ART. 6. — Un règlement d'administration publique prescrira les procédés d'analyse à suivre pour la détermination des matières fertilisantes des engrais, et statuera sur les autres mesures à prendre pour assurer l'exécution de la présente loi ; »

Le Conseil d'État entendu,

DÉCRÈTE :

ART. 1er. — Tout vendeur d'engrais ou amendement, autre que l'un de ceux mentionnés à l'article 5 de la loi du 4 février 1888, est tenu d'indiquer, soit dans le contrat de vente, soit dans le double de la commission délivré à l'acheteur au moment de la vente, soit dans une facture remise ou envoyée à l'acheteur au moment de la livraison ou de l'expédition de l'engrais ou amendement :

1° Le nom dudit engrais ou amendement ;

2° Sa nature ou la désignation permettant de le différencier de tout autre engrais ou amendement ;

3° Sa provenance, c'est-à-dire le nom de l'usine ou de la maison qui l'a fabriqué ou fait fabriquer, s'il s'agit d'un produit industriel, ou le lieu géographique d'où il est tiré, s'il s'agit d'un engrais naturel, soit pur, soit simplement trié et pulvérisé.

ART. 2. — Les indications prescrites par l'article qui précède doivent être complétées par la mention de la composition de l'engrais ou amendement.

Cette composition doit être exprimée par les poids des éléments fertilisants contenus dans 100 kilogrammes de la marchandise facturée, telle qu'elle est livrée et dénommée ci-après :

Azote nitrique ;

Azote ammoniacal ;

Azote organique ;

Acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau ;

Acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque ;

Acide phosphorique en combinaison insoluble ;

Potasse en combinaison soluble dans l'eau.

Pour l'azote organique et la potasse en combinaison soluble dans l'eau, l'origine ou l'indication de la matière première dont ils proviennent doit être mentionnée.

Dans tous les cas, la teneur par 100 kilogrammes d'engrais ou amendement est exprimée en azote élémentaire (Az) (14), en acide phosphorique anhydre ($Ph\ O^5$) (71) et en potasse anhydre (KO) (47).

Les mots « pour cent » dans l'indication du dosage doivent être exprimés en toutes lettres.

ART. 3. — Lorsque la vente est faite avec stipulation du règlement du prix d'après l'analyse à faire sur échantillon prélevé au moment de la livraison, l'indication de la composition de l'engrais ou amendement, telle qu'elle est exigée par l'article 2 qui précède, n'est pas obligatoire ; mais le vendeur est tenu de mentionner, en outre des prescriptions de l'article 1er :

Le prix du kilogramme d'azote nitrique ;

Le prix du kilogramme d'azote ammoniacal ;

Le prix du kilogramme d'azote organique ;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau ;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque ;

Le prix du kilogramme d'acide phosphorique en combinaison insoluble ;

Le prix du kilogramme de potasse en combinaison soluble dans l'eau ;

Pour l'azote organiqne et la potasse en combinaison soluble dans l'eau, l'origine ou l'indication de la matière première dont ils proviennent doit être mentionnée.

Les prix se rapportent toujours au kilogramme d'azote élémentaire (Az), d'acide phosphorique anhydre ($Ph\ O^5$) et de potasse (KO).

ART. 4. — Les infractions aux dispositions de la loi du 4 février 1888 et à celles du présent règlement d'administration publique seront constatées par tous officiers de police judiciaire et agents de la force publique.

S'il y a doute ou contestation sur l'exactitude des indications mentionnées dans les contrats de vente, factures ou commissions destinés à l'acheteur, il peut être procédé, soit d'office, soit à la demande des parties intéressées, à la prise d'échantillon et à l'expertise de l'engrais ou amendement vendu.

ART. 5. — Au cas où il est procédé à la prise des échantillons, à la demande des parties intéressées, les échantillons sont prélevés contradictoirement par les parties au lieu de la livraison.

Si le vendeur refuse d'assister à la prise d'échantillon ou de s'y faire représenter, il y est procédé, à la requête et en présence de l'acheteur ou de son représentant, par le maire ou le commissaire de police du lieu de la livraison.

ART. 6. — Quand il est procédé d'office à la prise d'échantillon, celle-ci est faite par le maire de la localité, ou son adjoiut, ou le commissaire de police, soit dans les magasins ou entrepôts, soit dans les gares ou ports de départ ou d'arrivée.

ART. 7. — Les échantillons sont toujours pris en trois exemplaires ; chacun d'eux est enfermé dans un vase en verre ou en grès verni, immédiatement bouché avec un bouchon de liège sur lequel le magistrat qui aura procédé à la prise d'échantillon attachera une bande de papier qu'il scellera de son sceau.

Une étiquette engagée dans l'un des cachets porte le nom de l'engrais ou amendement, la date de la prise d'échantillon et le nom de la personne ou du fonctionnaire ou agent qui requiert l'analyse.

ART. 8. — Chaque prise d'échantillon est constatée par un procès-verbal qui relate :

1° La date et le lieu de l'opération ;

2° Les noms et qualités des personnes qui y ont procédé ;

3° La copie des marques et étiquettes apposées sur les enveloppes de l'engrais ou amendement;

4° La copie du contrat de vente, du double de la commission ou de la facture;

5° La marque imprimée sur les cachets et la couleur de la cire ;

6° Le nombre des colis dans lesquels ont été prélevés des échantillons, ainsi que le nombre total des colis composant le lot échantillonné ;

7° Enfin toutes les indications jugées utiles pour établir l'authenticité des échantillons prélevés et l'identité industrielle de la marchandise vendue.

ART. 9. — Des trois exemplaires de chaque échantillon d'engrais ou d'amendement, l'un est remis ou envoyé au vendeur, l'autre est transmis à un chimiste expert pour servir à l'analyse, le troisième est conservé en dépôt au greffe du tribunal de l'arrondissement, pour servir, s'il y a lieu, à de nouvelles vérifications ou analyses.

Dans le cas où la prise d'échantillon a lieu d'un commun accord ou à la requête de l'acheteur. les parties peuvent convenir du choix du chimiste expert.

En cas de désaccord, ou en cas de prise d'échantillon d'office, le chimiste expert est désigné par le juge de paix du canton, sur la réquisition du magistrat qui a procédé à l'opération ou, à son défaut de la partie la plus diligente.

L'échantillon est remis au chimiste expert; en même temps transmission est faite à celui-ci de la copie des énonciations de provenance et de dosage formulées par le vendeur, conformément aux articles 3 et 4 de la loi et des articles 1, 2 et 3 du présent décret.

ART. 10. — L'expertise est faite par l'un des chimistes experts désignés par le Ministre de l'agriculture et dont la liste est revisée tous les ans dans le courant du mois de janvier.

Les frais de l'expertise sont réglés d'après un tarif arrêté par le Ministre.

ART. 11. — L'analyse de l'échantillon doit être effectuée dans un délai de dix jours, au plus, à partir du jour de la remise de l'échantillon au chimiste expert.

ART. 12. — L'analyse doit être faite d'après les procédés indiqués ci-après :

I. — PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLON.

L'échantillon doit être amené à un état d'homogénéité parfaite.

II. — DOSAGE DES ÉLÉMENTS UTILES.

1° *Azote.*

a) Azote nitrique.

On transforme l'acide nitrique en bioxyde d'azote au moyen de l'ébullition avec du protochlorure de fer, et on compare le volume du bioxyde d'azote obtenu au volume que donne une quantité connue de nitrate pur.

b) Azote ammoniacal.

On distille en présence d'un alcali la matière additionnée d'eau, en se servant d'un appareil à serpentin ascendant.

L'ammoniaque est recueillie dans l'acide titré.

c) Azote organique.

On le détermine par le chauffage de la matière avec la chaux sodée, qui le transforme en ammoniaque qu'on reçoit dans une liqueur titrée. Les nitrates qui peuvent se trouver dans l'engrais sont préalablement enlevés.

On dose encore l'acide organique en traitant la matière par l'acide sulfurique additionné d'un peu de mercure; l'azote, amené ainsi à l'état de sulfate d'ammoniaque, est dosé comme il est dit au paragraphe qui précède; il y a lieu aussi d'exclure l'azote nitrique.

2° *Acide phosphorique.*

a) Acide phosphorique total.

On dissout l'engrais ou amendement dans l'acide chlorhydrique, et on maintient en dissolution l'oxyde de fer et l'alumine ainsi que la chaux par du citrate d'ammoniaque. On précipite l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, qu'on calcine pour le transformer en pyrophosphate et on pèse.

Si la chaux est en trop forte proportion, on l'élimine au préalable par l'oxalate d'ammoniaque.

b) Acide phosphorique en combinaison soluble dans l'eau.

On traite la matière par l'eau distillée en évitant un contact prolongé; on filtre et, dans la solution filtrée, on précipite l'acide phosphorique et on dose celui-ci comme il est dit dans le paragraphe précédent (*a*).

c) Acide phosphorique en combinaison soluble dans le citrate d'ammoniaque.

On traite la matière à froid par le citrate d'ammoniaque alcalin, en laissant le contact se prolonger pendant douze heures, et on précipite dans la solution l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Pour les trois dosages *a*, *b* et *c*, au lieu de précipiter directement l'acide phosphorique à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien, on peut, au préalable, le précipiter par le nitromolybdate d'ammoniaque en dissolution nitrique. Le précipité obtenu est dissous dans l'ammoniaque, et on détermine l'acide phosphorique en le transformant, comme dans les cas précédents, en phosphate ammoniaco-magnésien.

3° *Potasse en combinaison soluble dans l'eau.*

a) Dosage à l'état de perchlorate.

La potasse est amenée à l'état de perchlorate; celui-ci est lavé à l'alcool, séché et pesé.

b) Dosage par le platine réduit.

La potasse est précipitée à l'état de chlorure double de platine et de potassium; ce précipité, lavé à l'alcool, est traité par le formiate de soude, qui précipite le platine métallique, dont on prend le poids après lavage et calcination. De la quantité de platine on déduit le poids de la potasse.

c) Dosage à l'état de chlorure double de platine et de potassium.

On amène les sels de potasse à l'état de chloroplatinate qu'on pèse après lavage à l'alcool et dessiccation.

Le Ministre de l'agriculture règle, par une instruction, sur l'avis conforme du comité consultatif des stations agronomiques et des laboratoires agricoles, les détails de chacun des procédés d'analyse mentionnés ci-dessus.

ART. 13. — Le chimiste expert, dans son rapport, indique les tolérances d'écart qui lui paraissent admissibles, en tenant compte :

1° Du degré d'homogénéité dont l'engrais est susceptible ;

2° Des changements qu'il a pu subir suivant sa nature entre la livraison et l'analyse ;

3° Et enfin du degré de précision des procédés d'analyse suivis.

Il conclut en donnant son avis sur les circonstances qui ont pu, indépendamment de la volonté du vendeur, modifier la composition de l'engrais.

ART. 14. — Le rapport du chimiste expert est déposé au greffe du tribunal qui a procédé à la désignation de l'expert. Avis du dépôt est donné par l'expert aux parties intéressées, au moyen d'une lettre recommandée.

Si le vendeur conteste l'analyse, il doit faire sa déclaration dans un délai de huit jours à partir du jour du dépôt, le jour de la notification non compris. Dans ce cas, le troisième exemplaire de l'échantillon est soumis à une contre-expertise par un chimiste expert choisi sur la liste dressée par le Ministre et désigné par le président du tribunal de l'arrondissement où il a été procédé à la prise d'échantillon.

ART. 15. — Le chimiste expert, chargé de la contre-expertise, fait, dans les huit jours à partir de celui où l'échantillon lui a été remis, l'analyse de l'engrais ou de l'amendement et rédige son rapport dans les formes indiquées à l'article 13 ci-dessus.

ART. 16. — Le rapport du chimiste expert chargé de la contre-expertise est déposé au greffe du tribunal civil où il a été procédé à la prise d'échantillon.

Avis du dépôt est donné par l'expert aux parties intéressées, au moyen d'une lettre recommandée.

ART. 17. — Les rapports des chimistes-experts, ensemble les procès-verbaux de prise d'échantillon, sont transmis au procureur de la République pour y être donné telle suite que de droit.

ART. 18. — Cette transmission a lieu, par les soins du chimiste expert, dans les huit jours qui suivent l'expiration du délai imparti par l'article 15 pour contester l'analyse, quand l'analyse n'a pas été contestée par le vendeur, et par ceux du chimiste chargé de la contre-expertise, au cas où il a été procédé à cette opération, dans les quarante-huit heures qui suivent la clôture du rapport.

ART. 19. — Le Ministre de l'agriculture est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 10 mai 1889.

CARNOT.

Par le Président de la République :

Le Ministre de l'Agriculture,

LÉOPOLD FAYE.

ARRÊTÉ

désignant les chimistes experts pour le prélèvement et l'analyse des échantillons d'engrais.

LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE,

Vu la loi du 4 février 1888, concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais ;

Vu l'article 10 du décret du 10 mai 1889, portant règlement d'administration publique pour l'application de ladite loi ;

Vu l'avis du Comité des stations agronomiques et des laboratoires agricoles ;

Sur la proposition du Conseiller d'État, Directeur de l'Agriculture,

ARRÊTÉ :

ART. 1er. — Sont désignés comme chimistes experts pour le prélèvement et l'analyse des échantillons d'engrais :

MM. ANDOUARD, directeur de la station agronomique de Nantes (Loire-Inférieure) ;

MM. AUBIN, du laboratoire de la Société des agriculteurs de France, à Paris ;

COLOMB-PRADEL, directeur de la station agronomique de Blois (Loir-et-Cher) ;

DEHÉRAIN, membre de l'Institut, professeur de chimie à l'École nationale d'agriculture de Grignon ;

DUBERNARD, directeur de la station agronomique de Lille (Nord) ;

DUGAST, directeur de la station agronomique d'Alger ;

FABRE, chargé du cours de chimie à la Faculté des sciences de Toulouse (Haute-Garonne) ;

GAYON, directeur de la station agronomique de Bordeaux (Gironde) ;

GAROLA, directeur de la station agronomique de Chartres (Eure-et-Loir) ;

GIRARD (Aimé), professeur à l'Institut national agronomique, à Paris ;

GRANDEAU, directeur de la station agronomique de l'Est, à Nancy (Meurthe-et-Moselle), chargé de l'inspection générale des stations agronomiques et des laboratoires ;

GUINON, directeur de la station agronomique de Châteauroux (Indre) ;

HOUZEAU, directeur de la station agronomique de Rouen (Seine-Inférieure) ;

ISAMBERT, directeur de la station agronomique de Poitiers (Vienne) ;

LAUROT, directeur du laboratoire agricole de Granville (Manche) ;

LECHARTIER, directeur de la station agronomique de Rennes (Ille-et-Vilaine) ;

LOUISE, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Caen (Calvados) ;

MARET, chimiste, rue Visconti, n° 18, à Paris ;

MARGOTTET, directeur de la station agronomique de Dijon (Côte-d'Or) ;

MUNTZ, directeur des laboratoires de chimie à l'Institut national agronomique, à Paris ;

PAGNOUL, directeur de la station agronomique d'Arras (Pas-de-Calais) ;

PARMENTIER, directeur de la station agronomique de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) ;

QUANTIN, chimiste, chef du laboratoire agricole d'Orléans (Loiret) ;

RAULIN, directeur de la station agronomique de Lyon (Rhône);

THOMAS, directeur de la station agronomique du Lézardeau, près Quimperlé (Finistère);

VAUCHEZ, directeur du laboratoire agricole de la Vendée, directeur de l'École pratique d'agriculture de Pectré (Vendée);

VIOLETTE, doyen de la Faculté des sciences de Lille (Nord);

VIVIEN, chimiste à Saint-Quentin(Aisne);

VIVIER, directeur de la station agronomique de Melun (Seine-et-Marne);

WULF (DE), directeur de la station agronomique de l'Yonne, à Auxerre.

ART. 2. — Les professeurs départementaux d'agriculture sont adjoints aux chimistes experts, mais seulement pour le prélèvement des échantillons d'engrais.

ART. 3. — Le Conseiller d'État, Directeur de l'Agriculture, est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Fait à Paris, le 23 janvier 1890.

LÉOPOLD FAYE.

Paris, le 15 janvier 1890.

MONSIEUR LE PRÉFET,

J'ai l'honneur de vous adresser ci-inclus un exemplaire :

1° De la loi du 4 février 1888 concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais;

2° Du décret en date du 10 mai 1889 portant règlement d'administration publique pour l'exécution de la loi précitée;

3° Du rapport du Comité des stations agronomiques et des laboratoires agricoles sur les méthodes à suivre pour la prise d'échantillons et l'analyse des matières fertilisantes, méthodes dont l'application pour les expertises légales est devenue obligatoire en vertu de l'article 12 du décret portant règlement d'administration publique;

4° De la liste des chimistes experts dressée par l'Administration sur l'avis du Comité des stations agronomiques et des laboratoires agricoles, en exécution de l'article 10 du règlement susvisé.

J'appelle tout particulièrement votre attention sur ces divers documents dont l'importance ne saurait vous échapper et qui forment un ensemble de dispositions dont le but est d'assurer à l'agriculture une protection efficace contre les fraudes pouvant être pratiquées dans la vente des engrais.

Le règlement d'administration publique devait, aux termes de l'article 6 de la loi, prescrire les procédés d'analyse à suivre pour la détermination des matières fertilisantes des engrais et statuer sur les autres mesures à prendre pour assurer l'exécution de la loi.

L'examen approfondi auquel la préparation de ce document a donné lieu de la part de l'Administration supérieure et du Conseil d'État permet d'espérer que la tâche des fonctionnaires et agents chargés de faire appliquer la loi du 4 février 1888 sera facile.

Je crois devoir cependant vous soumettre quelques observations sur les principales dispositions du décret du 10 mai afin de mettre bien en lumière

l'esprit général qui a présidé à la rédaction de ce document et ne laisser aucune place dans votre esprit aux erreurs d'interprétation.

Les articles 1, 2 et 3 du décret ont trait aux indications que le vendeur d'engrais est tenu, aux termes de la loi, de faire figurer soit dans le contrat de vente, soit dans le double de la commission, soit dans la facture, afin d'éclairer l'acheteur sur la valeur de l'engrais. Il n'est fait exception à cette règle que pour les engrais ou amendements mentionnés à l'article 5 de la loi, qui sont vendus tels quels et sous leur dénomination usuelle.

Les indications que le vendeur est obligé de fournir sont : le nom, la provenance, la nature, la composition et la teneur en principes fertilisants de l'engrais ou de l'amendement.

Il importe tout d'abord, Monsieur le Préfet, de bien définir ces différents termes.

Nom. — Par nom, il faut entendre la désignation sous laquelle l'engrais ou l'amendement est connu ou vendu.

Vous remarquerez, Monsieur le Préfet, que l'article 1er de la loi considère comme une tromperie ou une tentative de tromperie l'emploi, pour désigner ou qualifier un engrais, d'un nom qui, d'après l'usage, est donné à d'autres substances fertilisantes.

Ainsi la vente ou la mise en vente, sous le nom de guano, d'un engrais fabriqué, alors même que cet engrais aurait la richesse du guano en éléments utiles, constitue une tromperie ou une tentative de tromperie sur la dénomination en même temps que sur la nature du produit. Les mots « ou qualifier » dont se sert le législateur ont pour but d'interdire formellement de faire entrer les noms d'engrais déjà connus comme guano, noir d'os, etc., dans la dénomination d'un engrais nouveau.

Provenance. — Le règlement d'administration publique définit suffisamment ce qu'il faut désigner sous ce nom. C'est le lieu géographique d'où est tiré le produit s'il s'agit d'un engrais naturel comme le guano du Pérou ou le nom de l'usine ou la maison qui le fabrique ou le fait fabriquer s'il s'agit d'un produit industriel.

Nature. — Par nature, il faut entendre l'ensemble des propriétés qui caractérisent la marchandise et la différencient de toute autre. Il y a tentative de tromperie sur la nature d'un engrais quand l'indication fournie soit dans le contrat, soit dans le double de la commission, soit dans la facture s'applique à une marchandise différente de celle qui est vendue ou mise en vente. Ainsi la désignation du cuir torréfié sous le nom de sang désséché; de la poudre de corozo sous le nom de poudre d'os; de la tourbe torréfiée ou coke de Boghead sous le nom de noir; de schistes pulvérisés sous le nom de phosphates; de terre rougeâtre sous le nom de guano; constituent une tromperie sur la nature de l'engrais parce que ces diverses matières ne possèdent pas l'ensemble des propriétés des engrais sous le nom desquels elles sont vendues ou mises en vente, bien qu'elles en aient plus ou moins l'aspect extérieur.

Composition. — Les chimistes distinguent deux sortes de compositions : la composition *qualitative* qui est l'énumération des composants essentiels dont une substance est formée, et la composition *quantitative* qui indique pour chaque composant la proportion pour laquelle il entre dans l'ensemble.

Le dosage des éléments utiles qui n'est autre que la composition quantita-

tive dans ce qu'elle a d'essentiel en matière d'engrais, étant spécialement visé dans l'article 1er de la loi, il ne peut être question pour la tromperie sur la composition que de la composition qualitative. On reconnaîtra donc l'existence de cette tromperie lorsque le marchand d'engrais annoncera comme entrant dans la composition de l'engrais mis en vente ou vendu des substances qui ne s'y trouvent pas.

Dosage des éléments utiles. — En ce qui concerne le dosage des éléments utiles qui fait l'objet de l'article 2 du règlement d'administration publique, il y aura tromperie ou tentative de tromperie lorsque l'analyse de l'engrais vendu ou mis en vente révélera pour un ou plusieurs des éléments énumérés a l'article 4 de la loi (azote. acide phosphorique et potasse), un dosage (quantité contenue dans 100 kilogrammes d'engrais à l'état normal) inférieur à celui qui aura été annoncé conformément aux prescriptions de l'article 3 de la loi.

Toutefois, la tentative de tromperie ou la tromperie ne pourra être admise que si l'écart entre le dosage garanti et le dosage trouvé dépasse les écarts d'homogénéité admissible pour ces sortes de marchandises et les limites d'erreur inhérentes aux méthodes d'analyse suivies.

Vous remarquerez que l'article 2 du règlement d'administration publique mentionne, parmi les éléments fertilisants, l'acide phosphorique en combinaison insoluble; il doit être bien entendu que cette mention s'applique à l'acide phosphorique insoluble dans *l'eau* ou dans *le citrate d'ammoniaque*, mais soluble dans les acides minéraux. L'acide phosphorique soluble seulement dans les acides est assimilable par les végétaux et est utilisé par l'agriculture; il a donc une valeur propre; aussi, pour prévenir toute confusion, les marchands d'engrais pourront employer la mention suivante : acide phosphorique en combinaison insoluble dans l'eau et le citrate d'ammoniaque, *mais soluble dans les acides.*

Aux termes de l'article 4 du décret, tous officiers de police judiciaire, tous agents de la force publique ont qualité pour constater les infractions aux dispositions de la loi et à celles du présent règlement d'administration publique; s'il y a doute ou seulement contestation sur l'exactitude des indications fournies par le vendeur, il peut être procédé, soit d'office, soit à la demande des parties intéressées, à la prise d'échantillon et à l'expertise de la marchandise suspecte.

Il y a un grand intérêt à distinguer si la prise d'échantillon a lieu dans les conditions prévues par l'article 5 du règlement, c'est-à-dire *à la demande des parties intéressées* ou de l'une d'elles seulement, ou dans les conditions prévues par l'article 6, c'est-à-dire d'*office*.

Dans le premier cas, en effet, l'opération devra toujours être faite contradictoirement *au lieu de la livraison*; dans le second, elle pourra s'effectuer non seulement au lieu de la livraison, mais encore dans les magasins ou entrepôts, ou dans les gares ou ports de départ ou d'arrivée.

Il en résulte que l'Administration se trouve investie d'un droit dont elle pourra user sans mise en demeure préalable, mais seulement lorsqu'elle aura de sérieux motifs pour le faire. Il ne faut pas perdre de vue que l'abus de ce droit deviendrait une source de vexations pour les commerçants honnêtes, en même temps qu'il apporterait les plus fâcheuses entraves à la liberté des tran-

sactions. L'Administration ne devra donc se servir de l'arme que le législateur a mise entre ses mains qu'avec la plus grande circonspection et lorsqu'elle y sera autorisée par des graves indices ou de fortes présomptions. Dans tous les cas, la prise d'échantillon d'office devra être faite en présence du vendeur ou de son représentant.

Que la prise d'échantillon ait lieu d'office ou sur la requête de l'acheteur ou de son représentant, c'est le maire ou le commissaire de police qui devra procéder à cette opération. Toutefois, dans la pratique, l'Administration ne saurait trop recommander à ces officiers de police judiciaire de se faire assister, autant que possible, par le chimiste expert ou par le professeur d'agriculture du département ou de l'un des départements limitrophes, de telle façon que la prise d'échantillon s'effectue dans les conditions les plus régulières et d'après les procédés les plus sûrs, afin que l'échantillon soit la reproduction exacte de la marchandise.

Cette opération de la prise d'échantillon présente une si grande importance que je crois devoir reproduire ici les instructions contenues dans le rapport du Comité des stations agronomiques :

Les engrais peuvent se présenter sous des formes variables; tantôt ils sont pulvérulents, tantôt en masses agglomérées ou pâteuses, tantôt en morceaux durs ou débris plus ou moins gros, tantôt à l'état de pâte plus ou moins liquide, plus ou moins homogène, tantôt enfin à l'état d'un liquide fluide.

Lorsque les engrais sont pulvérulents, et c'est le cas le plus général, leur prise d'échantillon n'offre pas de difficulté. Quand ils sont en sacs, à l'aide d'une sonde suffisamment longue, on prendra l'échantillon dans le sac lui-même, en procédant de la manière suivante :

On ouvre un des angles du sac et l'on y plonge la sonde en la dirigeant en diagonale vers l'angle opposé; on répète la même opération successivement sur chacun des quatre angles du sac; mais lorsque le lot est considérable, il faut répéter la même opération sur un certain nombre de sacs pris au hasard. On réunit tous les produits de ces prélèvements, on les place sur une toile ou sur un papier et on les remue à la main ou avec une spatule, assez longtemps pour que l'homogénéité puisse être regardée comme parfaite; une partie de ce mélange, représentant 300 à 400 grammes, est placée dans un flacon de verre qu'on bouche avec un bon bouchon de liège.

Lorsque les engrais pulvérulents sont en tonneaux, on perce les deux fonds du tonneau de deux trous, au moyen d'une vrille; ce trou doit être assez grand pour qu'on puisse y introduire la sonde, ce qu'on fait en s'éloignant autant que possible de l'axe du tonneau. Le mélange se fait d'ailleurs comme précédemment.

Lorsque l'engrais est en tas, on peut également se servir de la sonde pour y prélever l'échantillon moyen; mais il faut avoir soin de faire pénétrer cet instrument jusque dans les parties centrales du tas, de même que jusque dans les parties inférieures. Si le tas est trop volumineux pour qu'on puisse arriver à ce résultat, le meilleur moyen consiste à faire une tranchée vers le centre du tas et à prélever ensuite dans un grand nombre de points placés dans les diverses parties du tas, en y comprenant ceux que la tranchée a rendus libres, les échantillons au moyen de la sonde.

Lorsque l'engrais est en masse pâteuse ou compacte, et qu'il se trouve en sacs

ou en tonneaux, il est indispensable de vider plusieurs sacs pris au hasard sur un plancher ou sur des dalles préalablement balayées ; on mélange alors à la pelle le tas obtenu et l'on prélève en différents points de ce tas des pelletées de l'engrais. Ce nouvel échantillon formé est divisé et mélangé, pulvérisé ou concassé, autant que possible, à l'aide d'une batte ou d'un marteau ; on mélange finalement à la main cette matière plus ou moins pulvérulente et on l'introduit dans un flacon ou dans une boîte métallique.

Quand l'échantillon est primitivement en tas, on procède de la même manière, en pratiquant une tranchée comme il a été expliqué plus haut.

On ne doit dans aucun cas, dans l'une ou l'autre de ces opérations, éliminer les pierres ou les parties étrangères de l'engrais ; elles doivent entrer dans l'échantillon prélevé, dans une proportion autant que possible égale à celle dans laquelle elles existent dans l'engrais.

Des matières peu homogènes, rognures, chiffons, etc., sont disposées en tas et bien mélangées à la pelle ; sur ce mélange, on prélève, à la main, dans un très grand nombre d'endroits, une poignée de matière, on réunit le produit de tous ces prélèvements qu'on mélange à nouveau avec la main et sur lequel on prend finalement l'échantillon destiné à l'analyse.

Moins la matière est homogène plus grand devra être l'échantillon destiné à l'analyse; dans quelques cas, il faut prélever jusqu'à 3 à 4 kilogrammes de matière. Cet échantillon est introduit dans une boîte métallique ou dans une caisse en bois hermétiquement fermée.

Les engrais qui sont en pâte plus ou moins liquide (par exemple les vidanges) peuvent présenter deux cas : ou bien ils sont homogènes, et alors il suffit de les mélanger à la pelle et d'en remplir un flacon ; ou bien ils se séparent en deux parties, l'une plus fluide, l'autre plus consistante; dans ce cas, il est indispensable de prélever de l'une et de l'autre dans une proportion égale à la proportion dans laquelle elles existent dans le lot à examiner.

Les parties liquides sont remuées et aussitôt, sans laisser le temps de déposer, on en prélève une quantité proportionnelle.

Les parties solides sont divisées à la bêche, on y prélève un échantillon égal proportionnel, et l'on réunit les deux lots dans un grand flacon à large goulot hermétiquement bouché.

Toutes les fois que la prise d'échantillon aura lieu d'un commun accord, l'Administration n'aura pas à intervenir et les parties pourront convenir du choix de l'expert et s'adresser à tel chimiste qu'elles s'entendront pour désigner.

Mais dans le cas de désaccord entre l'acheteur et le vendeur ou de prise d'échantillon d'office, c'est au juge de paix du canton qu'il appartiendra exclusivement de désigner le chimiste expert, sur la réquisition du maire ou de son adjoint, ou du commissaire de police qui aura procédé à la prise d'échantillon, ou, à leur défaut, de la partie la plus diligente. Toutefois le troisième paragraphe de l'article 9 doit être combiné avec l'article 10 et le juge de paix ne pourra choisir l'expert que sur une liste dressée, à cet effet, par le Ministre de l'agriculture. Le désaccord des parties ou la prise d'échantillon d'office constitue en effet une présomption de fraude; il est donc indispensable que dans ce cas l'analyse ne puisse être confiée qu'à des chimistes d'une compétence scientifique indiscutable. Vous remarquerez, Monsieur le Préfet, que si

l'Administration limite, dans certaines circonstances, le choix des juges de paix aux experts portés sur la liste, elle entend garantir les parties contre les abus du privilège, et l'article 10 du décret stipule que les frais de l'expertise seront réglés d'après un tarif arrêté par le Ministre de l'agriculture.

Les articles 11 et 12 fixent d'autre part les délais qui seront impartis aux chimistes experts pour effectuer l'analyse des échantillons et déterminent les procédés d'analyse qu'ils devront employer. Il était nécessaire en effet de prévenir des lenteurs aussi préjudiciables à l'acheteur qui a besoin d'être fixé sans retard sur la valeur de l'engrais qu'au vendeur lui-même qu'on ne saurait laisser trop longtemps sous le coup d'une suspicion peut-être imméritée. Il importait également de fixer d'avance les procédés d'analyse afin d'entourer de toutes les garanties désirables des opérations qui seront, dans certains cas, le point de départ et la base des poursuites judiciaires. Il va sans dire que les procédés indiqués ne sont pas immuables et que l'Administration se réserve de modifier ses instructions au fur et à mesure des progrès ou des découvertes de la science.

Il était équitable de tenir compte des changements qui peuvent se produire dans la composition des engrais entre le moment de leur mise en vente ou de leur livraison et le moment de l'analyse. Certaines circonstances peuvent en effet modifier la proportion primitive des éléments fertilisants contenus dans l'engrais et, d'autre part, il ne faut pas perdre de vue que les procédés d'analyse recommandés, quelle que soit d'ailleurs leur supériorité, ne sont pas susceptibles d'une précision absolue : l'article 13 confère donc aux chimistes experts un certain pouvoir d'appréciation en vertu duquel ils indiqueront dans leurs rapports les écarts qui leur paraissent admissibles entre les résultats de l'analyse et les déclarations du vendeur.

Aux termes de l'article 14, le rapport du chimiste expert doit être déposé au greffe du tribunal qui a procédé à sa désignation. Avis de ce dépôt est donné par l'expert aux parties intéressées au moyen d'une lettre recommandée. L'expert, lorsqu'il réside au siège du tribunal qui a procédé à sa désignation, devra, par mesure de prudence, effectuer en personne le dépôt de son rapport et de l'échantillon ; dans le cas contraire, il devra transmettre son rapport par la poste comme pli recommandé et déposer l'échantillon au greffe du lieu où il a fait l'analyse.

Le deuxième paragraphe de cet article prévoit le cas où le vendeur contesterait les résultats de l'expertise. Le troisième exemplaire de l'échantillon prélevé suivant les prescriptions de l'article 7 doit, dans cette occurrence, être soumis à une contre-expertise confiée à un chimiste expert choisi sur la liste dressée par le ministre et désigné par le président du tribunal de l'arrondissement où il a été précédé à la prise d'échantillon.

Les articles 15 et 16 fixent les règles de la contre-expertise et les articles 17 et 18 s'occupent de la mise en mouvement de l'action publique en prescrivant la transmission au procureur de la République des procès-verbaux de prise d'échantillon ainsi que des rapports des chimistes chargés de l'expertise et de la contre-expertise.

Les instructions du Comité des stations agronomiques sur la prise d'échantillon et l'analyse des engrais complètent l'article 12 du décret du 10 mai 1889 en indiquant d'une façon très précise la manière de procéder suivant la nature

des engrais ou des amendements ; elles permettent aux maires ou à leurs adjoints, ainsi qu'aux commissaires de police qui ne seraient pas familiarisés avec ce genre d'opérations et qui ne pourraient se faire assister d'un chimiste ou d'un professeur d'agriculture, d'effectuer les prélèvements d'échantillons dans des conditions régulières et conformes aux données scientifiques.

D'autre part, elles constituent un guide certain pour tous les chimistes experts et assurent l'unité et la précision des procédés d'analyse qui sont indispensables pour maintenir l'autorité et l'efficacité des prescriptions du législateur.

Quant à la liste des experts chimistes, elle sera revisée tous les ans, dans le courant de janvier, afin d'être modifiée ou complétée suivant les circonstances.

Bien que le règlement ne contienne aucune disposition relative au payement des frais d'expertise, il doit être entendu que l'État supporte les frais des analyses faites à la demande des autorités compétentes si les résultats de la vérification ne sont pas défavorables au vendeur et que les frais des analyses faites à la requête des particuliers sont payés d'après les conventions des parties, et, en cas de silence à ce sujet, par celle qui, à la suite de la vérification, est reconnue en faute, c'est-à-dire par le vendeur si ses indications sont fausses, par l'acheteur s'il a sollicité à tort une analyse.

En terminant, je crois devoir vous rappeler que l'article 471, paragraphe 15, du Code pénal demeure applicable à toutes les contraventions auxquelles pourra donner lieu la violation desdites prescriptions.

Je vous serai obligé, Monsieur le Préfet, de donner la plus large publicité à la loi, au décret portant règlement d'administration publique, á la liste des experts et à la présente circulaire. Ces documents, indépendamment de leur insertion dans le recueil des actes administratifs de votre département, figureront utilement dans le *Bulletin des communes* et dans les principaux organes départementaux. Il est essentiel en effet que les agriculteurs connaissent les mesures qui ont été prises par le Gouvernement de République pour les protéger contre un genre de fraude dont ils n'ont souffert que trop longtemps et qui n'a pas peu contribué à retarder les progrès de la culture.

Je compte enfin, Monsieur le Préfet, sur votre vigilance et sur votre fermeté pour faire produire à l'œuvre du législateur tous ses effets en exerçant une surveillance des plus attentives sur le commerce des engrais, et en usant de toutes les facilités que vous donne la nouvelle législation pour faire constater par qui de droit toutes les infractions aux prescriptions de la loi et du règlement d'administration publique, et vérifier la nature de toutes marchandises qui paraîtraient suspectes aux fonctionnaires ou agents placés sous vos ordres.

Vous voudrez bien m'accuser réception de la présente circulaire.

Recevez, Monsieur le Préfet, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le Ministre de l'Agriculture,

LÉOPOLD FAYE.

RAPPORT

DU COMITÉ DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES (1)

sur les méthodes à suivre pour la prise d'échantillon et l'analyse des matières fertilisantes, méthode dont l'application pour les expertises légales est devenue obligatoire en vertu de l'article 12 du décret portant règlement d'administration publique.

I. — Considérations générales.

En décrivant les méthodes analytiques qui, dans l'état actuel de nos connaissances, nous paraissent les plus propres à conduire à des résultats exacts, nous avons cru devoir tenir compte des conditions dans lesquelles se trouvent placés les laboratoires d'analyse qui ont à effectuer, dans un temps déterminé, un certain nombre d'opérations.

Il ne s'agissait donc pas uniquement de la précision des procédés, mais encore de la facilité et de la rapidité de leur application. C'est à ce double point de vue que la Commission chargée spécialement de cette étude s'est placée et, dans le choix qu'elle a fait parmi les méthodes analytiques, elle a tenu grand compte des nécessités de la pratique du laboratoire ; mais elle a toujours subordonné toutes les autres considérations à celle de l'exactitude à obtenir dans le dosage.

Les méthodes qui n'ont pas été jugées suffisamment précises ont été écartées. Mais la Commission n'a pas la prétention d'avoir fait une œuvre définitive; elle croit devoir laisser ouverte l'inscription de procédés nouveaux ou perfectionnés, lorsque ceux-ci auront fait leurs preuves.

Il existe quelquefois pour la détermination d'une même substance des moyens différents qui conduisent au résultat exact. Chaque fois que ce cas s'est présenté, la Commission a adopté ces diverses méthodes, laissant à l'opérateur le choix de celle que lui indiqueront ses habitudes, ses ressources, ses préférences personnelles. Mais il ne faut pas oublier que la précision absolue est impossible à atteindre.

L'exactitude des opérations ne dépend pas seulement des méthodes : elle dépend aussi des opérateurs; il y a donc deux causes d'erreur qui tendent à

(1) Ce comité est composé de :
MM. Tisserand, conseiller d'État, directeur de l'Agriculture, *président*.
Schlœsing, membre de l'Institut, professeur de chimie agricole à l'Institut agronomique.
Prillieux, inspecteur général de l'Enseignement agricole.
Risler, directeur de l'Institut agronomique.
Aimé Girard, professeur de technologie à l'Institut agronomique.
Cornu, professeur administrateur au Muséum d'histoire naturelle.
Grandeau, directeur à la station agronomique de l'Est.
Liébault, ingénieur constructeur à Paris.
Joulie, président de la Chambre syndicale des produits chimiques.
Mamelle, chef du bureau de l'enseignement agricole.
Müntz, professeur chef des travaux chimiques à l'Institut agronomique, *secrétaire*.
Marsais, sous-chef du bureau de l'enseignement agricole, *secrétaire-adjoint*.

éloigner les chiffres obtenus dans l'analyse du chiffre vrai : l'erreur inhérente au procédé, l'erreur personnelle à l'analyste. Les chiffres que donne le dosage ne sont donc pas mathématiquement égaux au chiffre exprimant la quantité réelle de la substance envisagée, et les écarts pourront être d'autant plus grands que la méthode est susceptible de moins de précision et l'opérateur moins habile.

De là résulteront des divergences entre les résultats obtenus par divers chimistes, divergences qui, dans l'esprit de personnes non initiées, pourront ébranler la confiance dans l'utilité et la valeur de l'épreuve analytique et embarrasser les tribunaux chargés de réprimer les fraudes. Les inconvénients de ces divergences sont apparents plutôt que réels, et il convient de les discuter.

Dans les transactions commerciales, il suffit d'avoir des chiffres se rapprochant assez de la vérité absolue pour que l'écart soit sans préjudice appréciable pour l'acheteur ou pour le vendeur, et il y a une certaine latitude dans laquelle peuvent se mouvoir les résultats que l'on peut appeler pratiquement exacts. Il faut donc admettre un écart permis, une tolérance, entre le titre indiqué et celui que donne l'analyse.

De là la nécessité de se rendre compte du degré de certitude qu'offre l'analyse chimique des matières fertilisantes.

C'est une tendance des personnes qui ne sont pas initiées aux sciences expérimentales d'attribuer à celles-ci plus de puissance qu'elles n'en ont en réalité. Il est du devoir de ceux qui sont chargés de préciser les conditions de l'intervention de la science dans les applications industrielles et commerciales de prémunir contre une confiance trop absolue dans les résultats du laboratoire.

On s'imagine souvent que le nombre de décimales est l'indice d'une plus grande exactitude ; rien n'est moins vrai, et le chimiste qui se rend compte de la valeur des chiffres ne s'attachera jamais à porter ce nombre au delà de ce qui rentre dans les limites des quantités dont il peut répondre. En général, quand les résultats sont rapportés à 100 de matière analysée, le maximum de précision qu'on puisse espérer ne dépasse pas une unité de la première décimale ; il n'y a donc à tenir aucun compte d'une seconde et surtout d'une troisième décimale, et, par suite, il est superflu de les employer en exprimant le résultat d'une analyse.

Encore, dans la plupart des cas, n'est-ce pas d'une unité de la première décimale, mais de plusieurs, que les chimistes peuvent s'écarter pour un même produit. On doit donc regarder comme pratiquement concordants les résultats qui ne diffèrent entre eux que d'un petit nombre d'unités de la première décimale, et ce nombre d'unités pourra être d'autant plus grand que la quantité du corps à doser est elle-même plus grande par rapport à la matière analysée.

Pour fixer les idées, nous citons quelques résultats :

Analyse d'un phosphate naturel :

	Acide phosphorique pour 100.
Quantité réelle	17.3
1er résultat	17.4
Autre résultat	17.0

Un marchand qui aura vendu avec garantie de 17,5 pour 100 d'acide phosphorique, alors que l'analyse n'aura trouvé que 17,0 n'est donc pas convaincu de fraude, puisque l'écart entre les deux chiffres peut provenir du fait de l'analyse aussi bien que d'un manquant réel. Il n'en serait pas de même si l'écart était plus grand.

Analyse d'un phosphate précipité :

	Acide phosphorique pour 100.
Quantité réelle	37.0
1er résultat	36.5
Autre résultat	37.5

Là encore nous devons admettre que ces divers chiffres sont suffisamment concordants pour les besoins du commerce et que le vendeur, qui aurait garanti 37,0, alors que l'analyse n'a trouvé que 36,5, n'est pas convaincu de fraude.

Analyse d'un nitrate de soude :

	Nitrate pur pour 100.
Quantité réelle	92.3
1er résultat	91.8
Autre résultat	92.8

Mêmes observations que pour les cas précédents.

Dosage d'azote dans un engrais organique :

	Azote pour 100.
Quantité réelle	3.3
1er résultat	3.4
Autre résultat	3.2

Ici les quantités étant plus faibles, on ne peut tolérer que de plus faibles écarts.

Ces exemples ne fixent pas les limites; ils ne sont destinés qu'à montrer que les analystes peuvent s'écarter, en plus ou en moins, de la vérité absolue.

Sans multiplier ces exemples, on peut dire que chaque fois que les écarts ne dépassent pas 1 p. 100 de la substance dosée ou deux unités de la première décimale, les résultats doivent être regardés comme concordants.

Dans certains cas les écarts peuvent être plus grands.

C'est au chimiste à déterminer, dans chaque cas particulier où il a à se prononcer sur la fraude dans le commerce des engrais, si l'écart entre le chiffre annoncé et le chiffre trouvé est assez faible pour être imputable aux imperfections de l'analyse, ou s'il est de nature à incriminer l'engrais analysé.

Le chimiste doit donc apporter de la prudence et du tact dans l'interprétation de ses résultats. Aussi est-il à désirer que les personnes chargées de se prononcer sur ces questions aient non seulement la pratique des opérations, mais encore les connaissances scientifiques nécessaires pour attribuer à chaque donnée analytique sa véritable valeur. Le choix de l'expert n'est donc pas indifférent.

Dans le cas de contestations, une plus grande attention s'impose à ce dernier ; aussi ne doit-il pas se borner à un seul essai, afin de se mettre à l'abri des causes d'erreurs accidentelles.

La Commission ne s'est occupée dans ce premier travail que des substances fertilisantes d'après lesquelles on calcule ordinairement la valeur des engrais.

Mais il est d'autres substances qui ne sont pas généralement vendues sur titre, mais dont le rôle est important dans l'amélioration ou l'entretien de la fertilité des terres. Les méthodes analytiques à appliquer à ces substances feront l'objet d'un travail ultérieur. La Commission complétera son œuvre par la description des divers procédés à employer pour l'analyse des substances agricoles en général : amendements, terres, produits de récoltes, etc.

II. — Examen préliminaire des engrais.

Lorsqu'un engrais est soumis à l'examen du chimiste, celui-ci est ordinairement informé des corps dont il doit déterminer la quantité. Dans ce cas, il portera uniquement son attention sur ces corps, sans s'attacher aux autres substances existant dans l'engrais, et une analyse qualitative paraîtrait inutile au premier abord. Mais le fait d'avoir négligé cet examen préliminaire peut avoir l'influence la plus préjudiciable sur l'exactitude des résultats, la coexistance de tels et tels corps nécessitant souvent des modifications dans les procédés analytiques. Les engrais constitués par des mélanges sont fréquemment dans ce cas. Pour ne citer qu'un exemple, le dosage de l'azote organique se fera par des procédés différents suivant qu'on aura constaté ou non la présence simultanée d'un nitrate.

L'examen préliminaire par l'analyse qualitative s'impose donc dans la plupart des cas ; il ne peut être négligé que lorsqu'on se trouve en présence d'engrais simples, tels que le phosphate naturel, le chlorure de potassium, le sulfate d'ammoniaque, etc.

Recherche qualitative de la potasse. — 2 à 3 grammes d'engrais sont traités par 4 ou 5 centimètres cubes d'eau ; on triture avec une baguette et l'on jette sur un filtre. C'est dans cette liqueur qu'on peut reconnaître la présence de la potasse par les procédés suivants :

1° A 2 ou 3 gouttes de liquide on ajoute une goutte d'acide chlorhydrique et 8 à 10 gouttes d'alcool, puis une goutte d'acide perchlorique, qui formera avec la potasse un perchlorate cristallin presque insoluble ;

2° Quelques gouttes de liquide sont additionnées de 2 ou 3 gouttes de solution de bichlorure de platine ; on obtiendra un précipité jaune cristallin de chloroplatinate de potasse, qu'une addition de quelques gouttes d'alcool rendra plus abondant.

Ces deux réactions peuvent cependant aussi se produire avec l'ammoniaque ; elles ne sont absolument certaines que si les sels ammoniacaux ont été au préalable chassés par une calcination de l'engrais.

3° Le réactif de M. Carnot est préférable et peut s'appliquer même en présence des sels ammoniacaux : à quelques gouttes du liquide obtenu par le lavage de l'engrais on ajoute autant de solution d'hyposulfite de soude à 10 p. 100 et 2 ou 4 gouttes d'une liqueur de bismuth, puis de l'alcool en quantité double du volume obtenu par le mélange de ces liquides. Par l'agi-

tation, on voit un précipité cristallin d'un beau jaune serin, caractéristique de la potasse.

La préparation de la liqueur de bismuth se fait en dissolvant 100 grammes de sous-nitrate de bismuth, à chaud, dans la quantité nécessaire d'acide chlorhydrique et en étendant le volume à un litre avec de l'alcool à 92 degrés.

Recherche qualitative de l'acide phosphorique. — Quelques centigrammes de matière sont introduits dans un tube à essai avec 2 à 3 centimètres cubes d'acide azotique et autant d'eau; on fait bouillir pendant deux ou trois minutes et on laisse déposer. Au moyen d'un tube étiré on prélève une partie du liquide clair, auquel on ajoute 4 à 5 centimètres cubes de nitromolybdate d'ammoniaque. S'il y a de l'acide phosphorique en quantité appréciable, on obtiendra, au bout de peu de temps, un précipité jaune caractéristique du phosphomolybdate d'ammoniaque, qu'on peut faire apparaître immédiatement en chauffant vers 60-80 degrés. On a ainsi constaté l'existence de l'acide phosphorique, mais sans savoir sous quel état il se présente.

Pour rechercher si c'est à l'état soluble dans l'eau, on opère exactement comme il vient d'être dit, avec cette différence que l'engrais est traité non par l'acide azotique, mais par de l'eau seulement. Dans la solution aqueuse le nitromolybdate d'ammoniaque décèlera la présence de l'acide phosphorique.

Quant à l'acide phosphorique soluble au citrate, le mieux, pour le découvrir, est d'opérer comme si l'on voulait faire un dosage de l'acide phosphorique soluble au nitrate.

Le nitromolybdate d'ammoniaque se prépare en dissolvant 100 grammes d'acide molybdique dans 400 grammes d'ammoniaque à 0,95 de densité et en ajoutant la solution obtenue, par petites portions et en agitant constamment, à 1^{k},5 d'acide azotique pur à 1,2 de densité.

Recherche qualitative de l'ammoniaque. — 1 à 2 grammes d'engrais sont traités par 4 à 5 centimètres cubes d'eau : on laisse déposer et on prélève une partie du liquide surnageant, qu'on introduit dans un tube à essai avec un peu de potasse. En chauffant il se dégage de l'ammoniaque qu'on reconnaît à l'odeur ou au bleuissement que subit un papier de tournesol rouge, humecté d'eau, qu'on présente à l'orifice du tube, ou encore aux fumées blanches qui se produisent lorsqu'on approche une baguette imprégnée d'acide chlorhydrique.

Recherche qualitative de l'acide nitrique. — Quelques décigrammes d'engrais sont placés dans un tube à essai avec un peu de limaille de cuivre, humectés d'un peu d'eau et additionnés de 3 à 4 centimètres cubes d'acide sulfurique. En chauffant, on voit se produire des vapeurs rutilantes.

On peut encore employer le réactif de Desbassyns de Richemont, qui est d'une très grande sensibilité. Quelques centigrammes de matière sont traités par cinq ou six gouttes d'eau ; on laisse déposer après avoir trituré avec un agitateur. D'un autre côté on met 4 à 5 centimètres cubes du réactif de Desbassyns et, avec un agitateur, on prélève une goutte du liquide à examiner, qu'on laisse tomber à la surface du réactif, qui s'entoure d'un anneau rose s'il y a du nitrate. En agitant, tout le liquide prend une teinte rosée. Il est indispensable de n'ajouter qu'une seule goutte; si l'on en mettait davantage, la réaction disparaîtrait immédiatement.

Le réactif de Desbassyns se prépare en ajoutant un peu de sulfate de pro-

toxyde de fer, finement pulvérisé, à de l'acide sulfurique pur et incolore, qu'on a fait bouillir au préalable pour le débarasser de produits nitreux.

Recherche qualitative de l'azote organique. — Lorsqu'il n'y a pas de sels d'ammoniaque en présence, il est facile de reconnaître l'azote organique en chauffant au rouge sombre, dans un tube bouché par un bout, un mélange de quelques décigrammes de matière et de quelques grammes de chaux sodée. Les vapeurs ammoniacales qui se dégagent se reconnaissent facilement; mais, s'il y avait en même temps dans le produit examiné des sels ammoniacaux, il faudrait au préalable éliminer ceux-ci par l'eau et traiter ensuite par la chaux sodée le résidu lavé et desséché.

Recherche qualitative de la magnésie. — Lorsqu'on doit effectuer le dosage de l'acide phosphorique dans un superphosphate, on doit s'assurer de la présence de la magnésie, qui obligerait à modifier la marche ordinaire de l'analyse. On procède de la manière suivante: 1 gramme environ d'engrais est traité à chaud par 5 à 6 centimètres cubes d'acide azotique et autant d'eau. On filtre sans laver, et dans le liquide passé, qu'on amène au volume de 60 à 80 centimètres cubes, on ajoute de l'acide citrique et de l'ammoniaque, comme s'il s'agissait d'un dosage d'acide phosphorique (voir plus loin), puis quelques centimètres cubes de solution au 1/10 de phosphate de soude. S'il y a de la magnésie, on obtiendra au bout de quelques heures, un précipité cristallin de phosphate ammoniaco-magnésien.

III. — Échantillonnage des engrais.

Préparation de l'échantillon au laboratoire. — La prise d'échantillon est une opération qui a autant d'importance que l'analyse elle-même; il convient d'y apporter les soins les plus minutieux, aussi bien dans l'échantillonnage sur place que dans la préparation de l'échantillon au laboratoire.

Cette dernière opération doit consister à donner une homogénéité parfaite au produit soumis à l'examen, et dans aucun cas, même alors que celui-ci paraît homogène, on ne doit se dispenser d'en opérer le mélange parfait. La manière de procéder variera avec la nature de l'engrais. Si celui-ci n'est pas pulvérulent, il faut le pulvériser dans la limite du possible, et opérer ensuite le mélange au mortier. Dans certains cas, comme celui des superphosphates, on a adopté l'usage de passer la matière à travers un tamis de 1 millimètre, en ayant soin de faire entrer dans l'échantillon les parties grossières après pulvérisation et qui seraient restées sur le tamis.

Lorsque les matières sont trop pâteuses pour être divisées au mortier, on peut les diviser au moyen d'un couteau ou d'une spatule et ensuite opérer le mélange par une sorte de malaxage. On peut encore y ajouter un poids connu de matière pulvérulente inerte, comme par exemple du sable de Fontainebleau; mais, dans ce cas, il faut procéder à un mélange très prolongé. On tiendra compte, dans le calcul, des quantités de matière inerte introduites.

Le plus souvent, l'état pâteux n'est dû qu'à l'humidité de la matière.

Dans ce cas, on en prend un échantillon volumineux qu'on pèse et qu'on dessèche; on entre alors dans le cas des engrais pulvérulents, mais il faut tenir compte dans le calcul de l'humidité enlevée. Avant cette opération, il

convient de s'assurer que le produit n'est pas modifié par la dessiccation, comme le seraient, par exemple, des superphosphates. Pour ces derniers, qui sont souvent à l'état plus ou moins aggloméré, il est d'usage d'introduire dans leur masse, pour les diviser, une certaine quantité de sulfate de chaux ; on obtient alors une substance de nature pulvérulente.

Pour les rognures, débris, chiffons, etc., en un mot pour les engrais très peu homogènes, il faut les diviser, autant que possible, à l'aide de ciseaux ; s'ils ne sont pas trop durs, on peut encore les passer au moulin. On mélange alors à la main, mais on n'arrive jamais à l'homogénéité complète. Pour obvier à cet inconvénient, on prélève pour l'analyse une quantité plus considérable de matière, qu'on prépare suivant le cas, de manière à opérer l'analyse définitive sur une partie proportionnelle du produit rendu homogène par la préparation qu'on lui a fait subir.

Pour les engrais en pâte plus ou moins liquide, on les dessèche au préalable à 100 degrés, en y introduisant un peu d'acide oxalique dans le cas où ils contiendraient des combinaisons ammoniacales volatiles. Le produit de la dessiccation est passé au moulin.

Cependant avant de procéder à une dessiccation, on doit s'assurer qu'aucune modification ne peut être apportée dans la composition de l'engrais. Ainsi, dans le cas d'un mélange contenant du superphosphate et du nitrate, la dessiccation pourrait éliminer de l'acide nitrique, si l'on n'avait pas soin de neutraliser au préalable le phosphate acide par une base, telle que la chaux.

Pour un engrais contenant à la fois des nitrates et des combinaisons ammoniacales volatiles, l'addition d'acide oxalique pourrait également éliminer de l'acide nitrique pendant la dessiccation. Il faut dans ce cas dessécher deux lots, l'un avec de l'acide oxalique pour le dosage de l'ammoniaque, l'autre sans acide oxalique pour le dosage du nitrate.

Le dosage de l'humidité initiale, même dans les engrais pulvérulents, est utile à pratiquer chaque fois qu'on a à faire subir un maniement prolongé à l'air, car ce maniement pourrait entraîner une dessiccation partielle et la composition de l'engrais se trouverait modifiée. La détermination préalable de l'humidité met à l'abri de cette cause d'erreur.

L'analyse qualitative doit donc précéder toutes les opérations, puisque c'est elle qui nous fixera sur les procédés à employer, tant pour la préparation de l'échantillon que pour le dosage.

Le chimiste devra apporter le plus grand soin à ces opérations préliminaires et discuter dans chaque cas la marche à suivre.

IV. — Dosage de la potasse.

1° *Dosage de la potasse dans un chlorure de potassium par l'acide perchlorique (méthode de M. Schlœsing).*

Le chlorure de potassium est l'engrais potassique le plus communément employé; la potasse est le seul élément qu'il soit utile d'y doser.

On dissout dans l'eau 50 grammes du chlorure à essayer; on étend la solution à un litre et on la rend homogène; à l'aide d'une pipette graduée, on

prélève 20 centimètres cubes de cette solution qui correspondent à 1 gramme de matière. On ajoute goutte à goutte une solution saturée de nitrate de baryte, et l'on s'arrête exactement au moment où une goutte de réactif ne produit plus de trouble dans la liqueur; pour bien saisir le moment où il faut s'arrêter, on verse la goutte le long de la paroi du vase en regardant si, à l'endroit du contact des deux liquides, il ne se forme plus de nuage. Si l'on attend quelques instants avant chaque addition de nitrate de baryte, il est facile de saisir le point précis auquel il faut s'arrêter. On précipite ainsi les traces d'acide sulfurique qui se trouvent toujours dans les chlorures.

On verse alors, sans filtrer, dans une capsule à fond plat de 7 centimètres de diamètre, en lavant le vase à deux reprises avec quelques gouttes d'eau, puis on évapore, au bain de sable, jusqu'à ce que ce liquide soit concentré à 5 centimètres cubes environ.

On ajoute 5 centimètres cubes d'acide nitrique à deux ou trois reprises, en évaporant chaque fois à un petit volume, sans chauffer beaucoup, pour ne pas faire de vapeurs chloronitiques. On élimine ainsi le chlore qui pourrait donner naissance à des projections pendant la transformation en perchlorate. Pour être assuré de l'élimination complète du chlore, on condense les vapeurs de la capsule sur une lame de verre, et l'on y ajoute une goutte d'azotate d'argent. Si aucun précipité ne se produit, tout le chlore est enlevé.

Après la concentration, on ajoute dans la capsule une solution d'acide perchlorique. L'acide perchlorique qu'on emploie doit avoir une densité de 1,7 : il contient alors environ 90 p. 100 d'acide perchlorique réel. On étend l'acide d'eau, de telle manière que 10 centimètres cubes de la solution contiennent $1^{gr},6$ d'acide réel. En employant dans chaque dosage 10 centimètres cubes de cette solution, on est sûr d'avoir toujours une quantité suffisante d'acide perchlorique, celle-ci étant calculée de manière à pouvoir saturer un gramme de chlorure de sodium.

On évapore à sec au bain de sable, en s'arrêtant lorsque les fumées blanches de l'acide perchlorique mis en excès ont cessé de se produire; puis on arrose la matière avec cinq ou six gouttes d'eau pour empêcher la formation de sulfate de potasse qui eût pu se produire par une double décomposition entre le perchlorate de potasse et le sulfate de baryte; on chasse cette eau par évaporation, et l'on ajoute, dans la capsule refroidie, 10 centimètres cubes d'alcool à 95°, qu'il est bon de saturer au préalable de perchlorate de potasse pur.

Au moyen d'une petite baguette de verre aplatie à un bout, on écrase toute la masse cristalline de manière que l'alcool l'imprègne complètement; on laisse reposer et on verse l'alcool de lavage sur un très petit filtre plat, destiné à recueillir les particules solides qui pourraient se trouver entraînées. Il est nécessaire, pour obtenir une bonne filtration, de se servir de papier de Berzélius. On remet 5 centimètres cubes d'alcool dans la capsule, et on procède de la même manière que précédemment, à trois ou quatre reprises différentes; puis, comme il pourrait rester encore dans l'intérieur des cristaux des sels solubles dans l'alcool et qu'il convient d'enlever, on ajoute sur le résidu salin 5 centimètres cubes d'eau; on chauffe au bain de sable, jusqu'à ce que cette eau soit de nouveau évaporée, et on reprend une

dernière fois par quelques centimètres cubes d'alcool. Les perchlorates de baryte, de soude, de chaux, etc., ont été enlevés par l'alcool, dans lequel ils sont très solubles; il ne reste dans la capsule et sur le filtre qu'un mélange de perchlorate de potasse et d'une petite quantité de sulfate de baryte insoluble; 25 à 30 centimètres cubes d'alcool sont en général suffisants pour opérer le lavage; mais, si l'on a eu la précaution de saturer l'alcool de lavage au préalable de perchlorate de potasse, il n'y a aucun inconvénient à pousser le lavage plus loin, jusqu'à 40 à 50 centimètres cubes.

Le perchlorate de potasse est soluble dans l'eau bouillante; on met dans la capsule 20 centimètres cubes d'eau, on chauffe presque à l'ébullition, au bain de sable, pendant cinq minutes, en évitant toute projection et on jette le liquide chaud sur le petit filtre qui a servi au lavage à l'alcool; les liqueurs sont reçues dans une petite capsule de porcelaine à fond plat, qu'on a tarée préalablement. On remet 5 centimètres cubes d'eau dans la première capsule; on fait bouillir, et on rajoute sur le filtre; on répète à quatre ou cinq reprises les lavages à l'eau bouillante, chaque fois avec 5 centimètres cubes d'eau. Cette filtration a pour but d'éliminer les matières insolubles (silice, sulfate de baryte, etc.), qui souillaient le perchlorate.

On a évaporé à mesure le liquide filtré recueilli dans la capsule tarée, afin qu'elle pût contenir toutes les eaux de lavage.

Le perchlorate de potasse a une tendance à grimper le long des parois pendant l'évaporation, et il passe souvent ainsi sur les bords extérieurs de la capsule. On peut remédier à cet inconvénient en ajoutant dans la capsule, avant l'évaporation, deux ou trois gouttes d'acide perchlorique qui empêchent le perchlorate de déborder.

Quand l'évaporation est complète et que toute fumée blanche a disparu on chauffe à 150° environ, pendant dix minutes. L'augmentation de poids de la capsule correspond au perchlorate de potasse, dont le poids multiplié par 0,339 donne le poids de la potasse contenue dans 1 gramme de sel essayé.

Quand les quantités d'acide sulfurique sont notables, il faut procéder d'une autre façon et séparer cet acide au préalable.

2° *Dosage de la potasse dans un sulfate de potasse, par l'acide perchlorique (méthode de M. Sclœsing).*

25 grammes de sulfate de potasse sont versés dans un verre de 500 centimètres cubes de capacité; on y ajoute environ 100 centimètres cubes d'eau bouillante en agitant de manière à opérer la dissolution; on laisse en contact pendant quelques minutes, et l'on décante dans un ballon jaugé de 500 centimètres cubes; on lave le verre à plusieurs reprises avec de petites quantités d'eau bouillante, de manière à dissoudre tout le sel, et l'on s'arrête au moment où l'on a presque atteint dans le ballon le volume de 500 centimètres cubes. On laisse alors refroidir; on complète le volume à 500 centimètres cubes et l'on agite de manière à avoir un liquide homogène.

20 centimètres cubes de cette solution, correspondant à 1 gramme de sel à essayer, sont versés dans un ballon d'environ 200 centimètres cubes; on porte à l'ébullition, et l'on ajoute, par petites portions, une solution de nitrate

de baryte, aussi longtemps qu'une nouvelle addition fait naître un précipité. Lorsque la précipitation est complète, on ajoute un petit excès de carbonate d'ammoniaque en poudre, destiné à précipiter la baryte mise en excès, et l'on porte à l'ébullition pendant quelques minutes; on filtre après avoir laissé déposer. La liqueur est évaporée au bain de sable à un petit volume, puis additionnée de 10 centimètres cubes d'eau régale faible, contenant 1/5 d'acide chlorydrique seulement; on évapore de nouveau presque à sec, en plaçant un entonnoir, renversé sur la capsule, et l'on ajoute encore une fois, ou mieux deux fois, de la même eau régale, en chassant toujours celle-ci par l'évaporation; les sels ammoniacaux sont ainsi éliminés; leur azote s'en va à l'état libre. Finalement, on traite un fois par l'acide azotique pour avoir le sel à l'état de nitrate; on évapore à sec; on additionne de 10 centimètres cubes d'acide perchlorique, dilué suivant la formule précédemment donnée.

On évapore à sec; après élimination complète des vapeurs d'acide perchlorique en excès, on laisse refroidir, et on lave comme il est dit à propos du chlorure de potassium, par de l'alcool fort, saturé de perchlorate de potasse; mais ici il n'y a comme résidu insoluble que le perchlorate; on se contente de dissoudre par un fin jet d'eau bouillante le sel qui a été entraîné sur le filtre, et l'on reçoit ce liquide dans la capsule où est restée la plus grande partie du perchlorate; on évapore à sec et l'on pèse.

Lorsqu'on a versé le nitrate de baryte avec précaution et que, par suite, on n'en a mis qu'un très léger excès, on peut se dispenser de l'emploi du carbonate d'ammoniaque, et l'on abrège ainsi notablement l'opération. Mais, dans le cas du sulfate de potasse, il est difficile de s'arrêter juste au moment de la saturation de l'acide sulfurique.

3° *Dosage de la potasse, dans un engrais complexe, par l'acide perchlorique.*

On suppose que cet engrais contient de la matière organique, des sels ammoniacaux, du superphosphate de chaux et un sel de potasse, chlorure ou sulfate; ce cas se présente fréquemment dans la pratique. Le procédé à appliquer est le même pour les engrais complexes, les guanos et les poudrettes. On prend 5 grammes de matière; on les mêle intimement dans un mortier avec 1 gramme de chaux hydratée; on verse dans une capsule en porcelaine; on humecte la masse avec quelques gouttes d'eau; on dessèche et l'on calcine à très basse température, sans dépasser le rouge sombre. Dans cette opération, les superphosphates reviennent à l'état insoluble; la matière organique est carbonisée, et les sels ammoniacaux sont éliminés; on reprend par de très petites quantités d'eau bouillante; on filtre; on lave à l'eau bouillante en s'arrangeant de manière à n'avoir pas plus de 80 centimètres cubes de liqueur environ; toute la potasse se trouve dissoute.

Dans cette liqueur, on ajoute, par petites portions, aussi longtemps qu'il se forme un nouveau précipité, de l'eau de baryte, dont on évite de mettre un excès considérable; on sépare l'excès de baryte introduit au moyen d'une solution concentrée de carbonate d'ammoniaque, en évitant également de mettre un grand excès de cette dernière solution; on porte à l'ébullition; on filtre et on lave; on évapore à un petit volume, puis on traite à plusieurs reprises par de l'acide nitrique additionné d'un cinquième d'acide chlorhy-

drique, en évaporant chaque fois, et l'on termine l'opération comme dans le cas d'un sulfate. L'addition d'acide chlorhydrique a pour but de produire de l'eau régale qui détruit les sels ammoniacaux. Le résultat obtenu correspond à 5 grammes de matière employée. Quand l'engrais est très riche en potasse, quand, par exemple, il en contient plus de 10 p. 100, il ne faut opérer que sur 2 grammes de matière.

4° *Dosage de la potasse dans des salins et dans des potasses raffinées, par la méthode au platine et au formiate de soude, de MM. Corenwinder et Contamine.*

Dans ces dernières années, on a préconisé l'emploi d'une méthode qui est rapide et exacte quand on la pratique avec tout le soin voulu. On peut la regarder comme aussi précise que le procédé au perchlorate. Elle s'applique en général aux sels de potasse. Mais il est utile de s'assurer au préalable que ceux-ci ne contiennent pas d'ammoniaque : si la présence de cette base était constatée, il faudrait chauffer au rouge le sel à essayer avant de procéder au dosage ; les sels ammoniacaux sont ainsi éliminés ; mais il faut éviter de pousser la température trop haut ou de la prolonger, de crainte de volatiliser les sels de potasse.

On prend 25 grammes de sel à analyser ; on calcine comme il vient d'être dit, mais seulement dans le cas très rare où il y a des sels ammoniacaux ou de la matière organique ; on dissout à l'ébullition dans 600 ou 800 centimètres cubes d'eau, on laisse refroidir, et l'on amène le volume total à 1 litre ; après avoir rendu le liquide homogène, on en filtre une partie ; on prélève 20 centimètres cubes, correspondant à 5 décigrammes de matière ; on acidule la liqueur par l'acide chlorhydrique ; on évapore à sec et l'on pèse le résidu salin afin de savoir quelle quantité de bichlorure de platine il faut y ajouter pour que ce dernier soit en excès. On calcule la quantité de bichlorure, de manière qu'elle soit suffisante pour saturer la quantité de sel pesé, que l'on considère comme étant du chlorure de sodium ; l'équivalent de la soude étant moins élevé que celui de la potasse, on est sûr, de cette manière, d'avoir un excès de chlorure de platine. La solution de chlorure de platine devra contenir, dans 100 centimètres cubes, 17 grammes de platine ; chaque centimètre cube de cette solution sera suffisant par décigramme du poids du résidu salin obtenu. On évapore le mélange dans une capsule à fond plat au bain-marie ; la capsule est placée sur un rond métallique qui est lui-même séparé des bords du bain-marie par un gros rond de carton, destiné à empêcher le bichlorure de platine d'être chauffé au delà de 100 degrés, température au-dessous de laquelle il pourrait se former un peu de sous-chlorure de platine, insoluble dans l'alcool.

On pousse l'évaporation jusqu'au moment où le produit a une consistance pâteuse et se prend en masse par le refroidissement : il faut éviter une dessiccation complète. Après le refroidissement, on laisse digérer pendant plusieurs heures avec 15 centimètres cubes d'alcool à 95 degrés, en ayant soin de placer la capsule sous une petite cloche. On agite de temps en temps avec une baguette le contenu de la capsule ; on décante le liquide surnageant sur un petit filtre ; on lave avec l'alcool jusqu'au moment où le liquide qui passe est tout à fait incolore.

On avait recommandé d'employer un mélange d'alcool et d'éther; mais le traitement par ce mélange ne se fait pas sans difficulté; il est rare que le liquide ne grimpe pas le long des parois de la capsule et ne déborde pas sur la paroi extérieure. Cet inconvénient est difficile à éviter avec l'emploi du mélange d'alcool et d'éther, mais ce lavage peut aussi s'opérer avec de l'alcool seul à 95 degrés, qui ne dissout pas le chloroplatine de potasse. Dans ce cas, le liquide grimpe moins.

On a ainsi obtenu, comme résidu insoluble, un mélange de chloroplatinate de potasse avec des quantités variables de phosphate de soude, de silice, d'oxyde de fer, etc. On dissout par l'eau bouillante la matière restée dans la capsule et on la verse sur le filtre; on continue le lavage de la capsule et du filtre par l'eau bouillante, jusqu'au moment où tout le chloroplatinate est dissous, ce qu'on constate facilement par la décoloration du filtre. La solution de chloroplatinate est reçue dans une capsule bien vernissée et dans le vernis de laquelle il ne se trouve pas de stries. On chauffe au bain de sable jusqu'à l'ébullition et l'on verse, par très petites portions, du formiate de soude dissous dans l'eau, tout en retirant la capsule du feu, pour éviter les projections. La réaction est assez vive; le platine est réduit à l'état métallique. On ajoute du formiate de soude jusqu'à ce que le liquide soit complètement décoloré. On peut avantageusement remplacer la capsule par un vase en verre trempé ou en verre de Bohême, à bec, qu'on recouvre d'un verre de montre pendant la réaction. Non seulement on évite ainsi des pertes par projection, mais on est aussi à l'abri des inconvénients que présentent dans les capsules les stries, sur lesquelles le platine adhère fortement.

Le platine s'est précipité sous forme de poudre noire; pour le concréter, on évapore le liquide à peu près à moitié; on verse sur un petit filtre, en y faisant tomber le platine avec de l'eau froide légèrement acidulée et, lorsque tout le platine est réuni sur le filtre, on achève le lavage à l'eau bouillante. Il arrive souvent que le platine passe à travers le filtre, ce qu'on remarque facilement à la teinte d'un gris métallique que prend le liquide filtré; il faut alors laisser déposer ce liquide du jour au lendemain, décanter la partie surnageante et ajouter sur le filtre le dépôt noir qui s'est formé, en employant encore de l'eau froide pour le lavage; mais cet inconvénient ne se produit que lorsque le liquide n'a pas été suffisamment évaporé pour concréter le platine; il faut donc donner une grande attention à cette évaporation (1).

Le filtre est séché et calciné; on obtient ainsi le poids du platine correspondant à celui de la potasse (100 de platine équivalent à 47,57 de potasse). Le procédé s'applique non seulement au chlorure de potassium, mais aussi aux salins, aux potasses raffinées et même au sulfate de potasse, sans séparation préalable de l'acide sulfurique.

5° *Dosage de la potasse à l'état de chlorure double de platine et de potassium. Séparation de la potasse et de la soude.*

Ce procédé de dosage classique fournit de bons résultats; il est fondé sur la

(1) Voyez page 145, quelques modifications à ce procédé qui rendent son application bien plus facile qu'il n'est indiqué ici.

propriété que possède le bichlorure de platine de donner, avec les chlorures de potassium et de sodium, des chlorures doubles de potassium et de sodium qu'il est facile de séparer, le chloroplatinate de potassium étant insoluble dans l'alcool, tandis que le chloroplatinate de soude y est soluble.

La première opération consiste à ramener la potasse et la soude à l'état de chlorures.

Soit le cas d'un engrais complexe. Il faut commencer par détruire la matière organique et les sels ammoniacaux par une calcination ou un grillage, mais en ayant soin de ne pas pousser la température trop loin, de peur de volatiliser de la potasse. Le produit de la calcination qui, suivant la richesse présumée de l'engrais, provient de 1 à 5 grammes de matière primitive, est traité par de l'eau chaude; on ajoute à la solution, qu'il est inutile de filtrer au préalable, un léger excès d'eau de baryte, puis on filtre. Dans la solution filtrée, on ajoute du carbonate d'ammoniaque en excès; on fait bouillir; on filtre de nouveau et l'on évapore à sec la solution claire dans une capsule de platine; on ajoute 4 ou 5 grammes d'acide oxalique en poudre à la matière, de manière à recouvrir celle-ci; on humecte avec quelques gouttes d'eau pour encroûter l'acide oxalique au-dessus de la matière; on recouvre d'un entonnoir qui pénètre de quelques millimètres dans la capsule; on chauffe modérément au bain de sable en ajoutant de temps en temps quelques gouttes d'eau; puis on chauffe plus fort au bain de sable jusqu'à ce que tout dégagement de gaz et de vapeurs ait cessé. Il se forme, dans l'intérieur de la capsule, des gaz réducteurs, notamment de l'oxyde de carbone, qui réagissent sur les azotates et achèvent de les transformer en carbonates. On n'a pas à craindre de pertes pendant cette opération, parce que l'acide oxalique, en se décomposant, tout en bouillant vivement, ne projette pas de matière. Il ne faut pas craindre à la fin de l'opération de porter la capsule jusqu'au rouge, qu'on maintient pendant quelques instants. On reprend par de petites quantités d'eau chaude, on filtre, si c'est nécessaire; la magnésie, le carbonate de chaux, etc., restent sur le filtre; dans la solution filtrée, où les alcalis se trouvent à l'état de carbonates, on met de l'acide chlorhydrique; on évapore à sec et l'on pèse le mélange des chlorures, auquel on ajoute une quantité connue de chlorure de platine, comme il est expliqué précédemment; on évapore à sec au bain-marie, mais sans prolonger la dessiccation au delà de ce qui est indispensable.

Le résidu est repris par de l'alcool à 95 degrés, qu'on laisse pendant quelque temps séjourner sur la matière, après avoir bien agité afin d'obtenir la précipitation complète du chloroplatinate. Cette digestion doit se faire sous une petite cloche à bords rodés et suiffés, reposant sur une plaque de verre dépolie. On empêche ainsi l'alcool de s'évaporer et de former, sur les parois de la capsule, des dépôts qui finissent par atteindre et dépasser le bord supérieur du vase.

On lave au moyen de cet alcool, en décantant les liqueurs sur un petit filtre placé lui-même dans un autre filtre d'un poids identique, qui lui sert de tare sur les deux plateaux d'une balance; le lavage est prolongé jusqu'à ce que les liqueurs passent tout à fait incolores. On s'arrange, pendant le lavage, de manière à faire tomber sur le filtre toute la matière, en détachant avec une barbe de plume celle qui resterait dans la capsule; on dessèche à une température ne dépassant pas 95 degrés et l'on pèse le chloroplatinate recueilli sur le

filtre intérieur. On peut encore laisser la matière dans la capsule, où l'on fait tomber, au moyen d'un fin jet d'alcool, le chloroplatinate qui était entraîné sur le filtre. On pèse dans la capsule même, après dessiccation à 95 degrés. La pesée doit se faire rapidement à cause de l'hygroscopicité de la matière.

Lorsqu'on a recueilli le précipité sur le filtre, il est prudent d'introduire celui-ci, au sortir de l'étuve, dans un étui en verre léger, bouché à l'émeri, en prenant la précaution de tarer cet étui avec un autre semblable, dans lequel on mettra le filtre vide. Le poids obtenu multiplié par 0,193 donne la quantité de potasse correspondante.

6° *Détermination de la soude.*

On peut doser la soude par différence. Étant donné qu'on connaît le poids du mélange de chlorure de potassium et de chlorure de sodium et qu'on a dosé, comme on vient de le dire, la potasse, on n'a qu'à retrancher du poids total le poids du chlorure de potassium correspondant à la potasse obtenue ; on aura ainsi le poids du chlorure de sodium.

Mais il vaut mieux opérer un dosage direct. La soude se trouve tout entière dans la dissolution alcoolique, dont on a séparé par filtration le chloroplatinate de potasse. Cette liqueur est évaporée à sec, au bain de sable, dans un verre de Bohême d'environ 100 centimètres cubes de capacité. Le résidu est formé de chloroplatinate de soude et d'un peu de bichlorure de platine. On adapte au verre de Bohême un bouchon de liège avec deux tubes. On maintient l'appareil sur un bain de sable à une douce chaleur; on fait arriver par l'un des tubes, qui plonge jusqu'au fond du verre de Bohême, un courant d'hydrogène; l'autre tube sert au dégagement des gaz. L'hydrogène réduit complètement les sels de platine. Pour faciliter l'attaque du résidu solide dans toute son épaisseur, on ajoute quelques gouttes d'eau; quand toute la surface a noirci, on agite, on évapore à sec et l'on fait de nouveau passer de l'hydrogène. On répète trois ou quatre fois cette opération, en s'arrêtant au moment où l'eau ajoutée ne se colore plus en jaune ; on n'a plus alors qu'un mélange de platine réduit et de chlorure de sodium. Aucune trace de ce dernier n'a été perdue, car la température n'a pas dépassé 100 degrés. On dissout le chlorure de sodium par des lavages à l'eau. Ce liquide, qui doit être absolument incolore, est évaporé à sec dans une capsule de platine et pesé ; on obtient ainsi le poids du chlorure de sodium. Comme vérification, la somme du poids du chlorure de potassium, calculée d'après le chloroplatinate et le poids du chlorure de sodium trouvé, doit être égale au poids initial du mélange des deux chlorures.

V. — Dosage de l'azote sous ses divers états.

1° *Dosage de l'azote organique par la chaux sodée dans un engrais riche ne contenant pas de nitrate (ex. : sang desséché).*

L'azote qui se trouve à l'état organique dans les engrais se transforme en ammoniaque lorsqu'on chauffe la matière avec de la chaux sodée. Cette réaction est la base du procédé d'analyse dont il est ici question. La présence des nitrates ne permet pas l'emploi de cette méthode.

Voyez pour la pratique de cette méthode, page 26.

Il arrive que, lorsque l'engrais contient des sels ammoniacaux, une partie de l'ammoniaque se dégage pendant qu'on fait le mélange dans le mortier. Dans ce cas, il faut procéder très rapidement et avoir d'avance la chaux sodée toute pulvérisée. Pour plus de sûreté, on peut triturer la matière avec quelques cristaux d'acide oxalique, avant de la mêler à la chaux sodée.

Il serait préférable de doser d'abord l'ammoniaque toute formée, en la déplaçant par la magnésie, et d'opérer ensuite sur le résidu pour le dosage de l'azote organique par la chaux sodée; mais on allongerait ainsi de beaucoup le dosage. Les précautions que nous avons indiquées pour éviter les pertes d'ammoniaque sont suffisantes.

Souvent l'échantillon sur lequel on opère n'est pas sec et il faut au préalable l'amener à l'état de siccité; mais si cette dessiccation était faite sans précaution spéciale, on pourrait perdre par la volatilisation de l'ammoniaque libre ou carbonaté : tel serait le cas du fumier de ferme, du purin, etc. On évite cet inconvénient en ajoutant à la matière assez d'acide oxalique en poudre pour donner une réaction franchement acide à la masse; l'ammoniaque se trouve ainsi fixée à l'état d'oxalate. On peut tenir compte, dans le poids de la matière employée pour l'analyse, du poids de l'acide oxalique ajouté.

Préparation de la chaux sodée. — Dans une terrine en grès, on met 600 grammes de chaux éteinte en poudre et l'on verse dessus une solution de 260 grammes de soude caustique dans 250 centimètres cubes d'eau. On fait une pâte qu'on introduit dans un creuset en terre et qu'on chauffe au rouge; on fait sortir la matière encore chaude du creuset; on la concasse rapidement dans un mortier de cuivre, de manière à avoir des grains de la grosseur d'un pois environ et qui ne sont pas trop mélangés de poudre. On enferme cette matière encore chaude dans un flacon bien bouché.

Préparation de l'oxalate de chaux. — Dans une petite bassine de cuivre, on met 100 grammes d'acide oxalique; on y ajoute, en faisant bouillir, assez d'eau pour tout dissoudre, puis on y jette par petites portions de la chaux éteinte en poudre, en remuant constamment, jusqu'à ce que le papier de tournesol indique qu'il y a de la chaux en excès; on évapore d'abord à feu nu en agitant fortement, puis on achève la dessiccation au bain de sable; on met la matière desséchée dans un flacon bien bouché.

2° *Dosage de l'azote organique dans un engrais pauvre en azote ne contenant pas de nitrate.*

Le dosage par la chaux sodée s'effectue facilement sur les engrais qui ne contiennent pas de nitrate; c'est le cas que nous supposons encore ici, mais en considérant un engrais moins riche en azote que le précédent. On opère sur un gramme de matière; on procède exactement comme à l'article précédent, avec cette seule différence qu'on substitue à l'acide titré normal l'acide titré décime et qu'on se sert d'eau de chaux pour faire la suturation de l'acide. Comme il peut arriver que l'engrais soit plus riche en azote qu'on ne pensait et que, par suite, les 10 centimètres cubes d'acide décime pourraient se trouver saturés complètement, ce qui occasionnerait une perte d'ammoniaque, il est prudent d'ajouter dans le tube à essai quelques gouttes de teinture de tour-

nesol, qui montreraient, en virant au bleu, que l'acide est saturé ; dans ce cas, pour ne pas perdre l'opération, il faudrait ajouter aussitôt 10 autres centimètres cubes d'acide décime et achever l'opération comme précédemment. On tient compte par le calcul des 10 centimètres cubes d'acide décime ajoutés en plus.

Exemple de calcul : il a fallu 26cc.5 d'eau de chaux pour saturer 10 centimètres cubes d'acide titré ; la matière contenait plus d'azote que n'en pouvaient saturer les 10 centimètres cubes d'acide placé dans le tube à essai et l'on a dû ajouter dix autres centimètres cubes. Pour opérer la saturation de cette liqueur, il a fallu 18cc.5 d'eau de chaux. La quantité d'azote sera la suivante :

$$\frac{26.5+(26.5-18.5)}{26.5}\times 0.0175$$

en admettant que 10 centimètres cubes d'acide titré équivalent à 0gr,0175 d'azote.

3° *Dosage de l'azote dans les substances peu homogènes et difficiles à pulvériser (procédé de M. Grandeau).*

Il peut arriver que l'engrais azoté soit en morceaux difficiles à diviser et de nature différente : tel est le cas des déchets de drap, de cuir, de laine, etc. Il est alors impossible d'obtenir un mélange homogène sur lequel on puisse prélever la quantité de matière destinée à l'analyse. Dans ce cas, on traite, dans une capsule de porcelaine, 50 grammes de la matière à analyser par une quantité d'acide sulfurique concentré suffisante pour imprégner toute la masse ; on chauffe au bain de sable en remuant fréquemment, jusqu'à ce que la désagrégation soit complète. Alors on ajoute, par petites portions, de la craie finement pulvérisée jusqu'à ce qu'on ait obtenu une masse solide qu'on broie dans un mortier et qu'on mélange avec soin. On n'a pas saturé complètement l'acide par la craie, de sorte que, pendant la manipulation, il ne peut se produire aucune déperdition d'ammoniaque. On prend le poids de la poudre ainsi obtenue, et on prélève une quantité suffisante. Cette partie est traitée par la chaux sodée comme s'il s'agissait d'un dosage ordinaire ; là encore, suivant la richesse supposée de l'engrais, on emploie l'acide sulfurique titré normal ou l'acide décime. Cette méthode ne serait pas applicable aux cas où il y aurait des nitrates.

Dans le cas où l'on opérerait le dosage par le procédé Kjeldahl, on ne saturerait pas l'acide, mais on prendrait une fraction déterminée, soit par exemple 1/50 de bouillie acide obtenue, correspondant à 1 gramme de matière.

4° *Dosage de l'azote sous ses trois états dans un engrais complexe.*

Le cas se présente fréquemment, dans la pratique, d'avoir à déterminer, dans un même engrais, l'azote à l'état de nitrate, à l'état d'ammoniaque et à l'état d'azote engagé dans des combinaisons organiques. Le dosage de l'azote en bloc ne pourrait se faire qu'au moyen de la méthode qui consiste à mesurer l'azote en volume (1). Le procédé ordinaire par la chaux sodée ne donnerait que des indications erronées.

(1) V. page 31.

Il est souvent nécessaire de séparer ces diverses formes de l'azote pour les doser isolément, d'autant plus que leur valeur commerciale n'étant pas la même, il est indispensable, pour fixer le prix de l'engrais, de connaître la proportion de chacune d'entre elles.

A. *Dosage de l'azote nitrique.* — On prend 66 grammes de matière qu'on triture dans un mortier, avec un peu d'eau; on épuise par l'eau en décantant la liqueur dans un ballon jaugé d'un litre, et en lavant le résidu un grand nombre de fois, jusqu'à ce qu'on ait complété le volume d'un litre ; tout le nitrate est en dissolution : on le dose comme il est expliqué au paragraphe traitant de l'analyse des nitrates.

B. *Dosage de l'ammoniaque.* — On introduit 1 gramme d'engrais dans l'appareil à distillation de M. Schlœsing (page 30); on y ajoute 200 centimètres cubes d'eau et 1 gramme de magnésie calcinée : on distille en recueillant dans l'acide sulfurique titré. Si l'engrais est riche en ammoniaque, on emploie l'acide titré normal; s'il est pauvre, on emploie l'acide au dixième.

C. *Dosage de l'azote organique.* — L'azote organique se trouve généralement dans les engrais en même temps à l'état soluble et à l'état insoluble. On dose cet azote sous une seule forme ; mais comme il y a lieu, pour pouvoir opérer ce dosage, d'éliminer complètement les nitrates, on perdrait l'azote organique soluble, si l'on procédait par des lavages à l'eau.

Voici comment il convient de procéder. Dans une capsule à fond plat de 9 centimètres de diamètre, on met 2 grammes d'engrais à essayer ; on y ajoute 10 centimètres cubes de liqueur de perchlorure de fer et 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique: on recouvre la capsule d'un entonnoir pour éviter les projections et l'on porte rapidement à l'ébullition, qu'on maintient jusqu'à ce que les vapeurs nitreuses soient complètement éliminées. Puis on évapore à sec, au bain de sable, en s'arrêtant au moment où les vapeurs acides cessent de se dégager; il est important de ne pas prolonger inutilement l'action du feu, afin de ne pas volatiliser les sels ammoniacaux. Puis on ajoute dans la capsule 4 grammes de craie pulvérisée ; on mélange la masse de manière à obtenir une poudre qui se détache facilement et l'on enlève soigneusement la matière de la capsule. Cette matière est introduite dans le tube à chaux sodée ; comme elle est assez volumineuse, il y a lieu d'employer un tube de 40 à 45 centimètres de longueur. On conduit l'opération comme un dosage ordinaire. Dans ces traitements on n'a pas éliminé l'ammoniaque; l'azote trouvé représente donc la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Comme on a déterminé ce dernier isolément, on le retranche du chiffre trouvé dans cet essai et l'on obtient ainsi l'azote qui existe à l'état organique.

5° *Dosage de l'azote par la méthode Kjeldahl.*

Voyez page 29.

6° *Dosage de l'ammoniaque dans un sulfate d'ammoniaque au moyen de l'appareil de M. Schlœsing.*

Le dosage de l'ammoniaque s'effectue toujours en chassant cette base au moyen d'une base fixe et en distillant; l'ammoniaque est recueillie dans un

acide titré, dont le degré de saturation mesure la proportion de l'alcali volatil.

On pèse 25 grammes de sulfate à essayer; on les dissout dans de l'eau; on amène le volume à 1 litre. On prend 20 centimètres cubes de cette dissolution, correspondant à 5 décigrammes de sulfate, au moyen d'une pipette jaugée; on les introduit dans le ballon à col étiré de l'appareil; on ajoute 150 centimètres cubes d'eau et 2 grammes de chaux éteinte ou une dissolution équivalente de soude ou de potasse. (Le ballon peut être remplacé par une fiole de verre trempé.) Le ballon communique, au moyen d'un court tube de caoutchouc, avec un serpentin de verre ascendant se reliant à un refrigérant (voy. page 30). Le réfrigérant porte un tube étiré, à boule dont l'extrémité plonge de 1 à 2 millimètres au plus dans 10 centimètres cubes d'acide sulfurique titré normal contenus dans un petit ballon. L'appareil étant ainsi disposé et l'eau circulant dans le réfrigérant, on chauffe le ballon de manière à porter à l'ébullition; l'ammoniaque se dégage d'abord et se combine à l'acide sulfurique titré: il peut arriver que, par suite d'une absorption trop rapide de l'ammoniaque, la liqueur acide monte dans le tube; mais, la boule étant suffisante pour la contenir, cela n'a pas d'inconvénient. On continue à chauffer de manière à distiller lentement une certaine quantité d'eau, destinée à chasser les dernières traces d'ammoniaque. Quand la quantité d'eau distillée a atteint 50 centimètres cubes, on détache de l'appareil le tube à boule et ensuite seulement on arrête le feu; on lave le tube à boule, à l'intérieur et au bout extérieur, avec de petites quantités d'eau, qu'on fait tomber dans le ballon. Puis on ajoute la teinture de tournesol neutre et, au moyen d'une burette graduée, en agitant constamment, une solution alcaline, jusqu'au moment où la couleur du tournesol indique que la saturation est complète. On lit le volume de liqueur alcaline employé : soit V. D'un autre côté, dans un ballon semblable, on a versé 10 centimètres cubes de l'acide titré, le tournesol et 50 centimètres cubes d'eau distillée; avec la liqueur alcaline on sature cet acide, et l'on note également le volume employé : soit V'. L'acide titré a été préparé de telle sorte que les 10 centimètres cubes employés saturent exactement $0^{gr},2125$ d'ammoniaque ou toute quantité voisine rigoureusement connue. Pour calculer, au moyen de ces éléments, l'ammoniaque contenue dans les 5 décigrammes de sulfate d'ammoniaque sur lesquels on a opéré, on établit la formule suivante :

$$x = \frac{V' - V}{V'} \times 0.2125.$$

Pour calculer à l'état d'azote, on emploie la formule

$$x = \frac{V' - V}{V} \times 0.175.$$

en admettant que les 10 centimètres cubes d'acide titré correspondent exactement à ces quantités.

Préparation de l'acide sulfurique titré. — Dans une capsule de platine, on met de l'acide sulfurique distillé pur; on le porte à l'ébullition, qu'on maintient pendant au moins une demi-heure, puis on laisse refroidir la capsule sous une cloche rodée, pour éviter l'absorption de toute trace d'humidité. La

capsule sera placée sur un trépied en fer afin d'éviter que la plaque de verre sur laquelle se trouve la cloche ne soit cassée par la température de la capsule. L'acide étant refroidi, on en verse rapidement dans un ballon bouché à l'émeri, taré sur la balance de précision, environ 50 centimètres cubes, on bouche immédiatement et l'on en prend le poids. Celui-ci étant obtenu, on verse l'acide dans un ballon jaugé, en lavant de manière à entraîner tout l'acide qui avait été pesé. Le volume auquel on amènera la liqueur sera tel que 61 gr. 25 d'acide sulfurique soient amenés exactement à 1 litre ; on étendra donc la solution de manière à obtenir cette concentration. On appelle cette liqueur : *liqueur acide normale*. Le liquide ainsi obtenu est mélangé avec soin et conservé dans un flacon bouché à l'émeri. Comme le verre a souvent une réaction alcaline et qu'une partie de l'acide pourrait être saturée par cette alcalinité du verre, il convient de choisir des flacons dans lesquels a séjourné pendant longtemps de l'acide sulfurique concentré. Pour l'usage il est commode de mettre ce liquide dans un matras, qui porte un bouchon à caoutchouc muni d'une pipette jaugée. Le matras et la pipette ont été aup réalable soumis, pendant quelques semaines, à l'action de l'acide sulfurique concentré.

En donnant cette formule pour la préparation des acides titrés, nous n'entendons pas dire que c'est la seule qu'on puisse employer. Elle nous a semblé convenable pour l'emploi. Mais tout autre acide titré conduit au même résultat, à la condition de renfermer une proportion d'acide rigoureusement connue. Quel que soit d'ailleurs le mode de préparation des acides titrés, il est indispensable d'y doser exactement l'acide, ce qu'on peut faire par divers procédés que nous ne décrirons pas ici.

Préparation de la liqueur acide décime. — 100 centimètres cubes d'acide sulfurique titré normal sont versés dans une carafe jaugée de 1 litre; on complète le volume à 1 litre avec de l'eau distillée préalablement bouillie.

Préparation de l'eau de chaux. — On met 200 à 300 grammes de chaux éteinte dans un flacon bouché de 5 litres ; on remplit avec de l'eau; on agite, et, après avoir laissé déposer, on jette l'eau qui a dissous les parties salines que la chaux pouvait contenir. On remet de nouvelle eau en agitant de temps en temps. Pour employer cette eau de chaux, on la filtre dans un flacon, en évitant autant que possible l'accès de l'air. On bouche au moyen d'un bouchon qui porte deux tubes étirés au bout et recourbés à angle droit : l'un sert à l'écoulement de l'eau de chaux, et l'autre à la rentrée de l'air. Ces deux tubes sont eux-mêmes bouchés au moyen d'un petit tube de caoutchouc muni d'un obturateur en verre.

Préparation de la magnésie. — On triture dans un mortier le carbonate de magnésie en pain du commerce, et l'on en fait une pâte homogène en l'additionnant successivement de petites quantités d'eau ; on introduit cette pâte liquide dans un flacon avec de l'eau distillée, on décante de temps en temps la liqueur qui surnage en la remplaçant par de nouvelle eau distillée et en agitant fréquemment ; cette opération a pour but d'enlever les alcalis qui sont généralement mélangés à ce produit et qui pourraient exercer une action sur les matières organiques azotées. On jette sur un entonnoir bouché par un tampon de coton ; on laisse égoutter ; on sèche à l'étuve ; on introduit dans un creuset en terre, et l'on calcine pendant une heure au rouge peu intense.

Le produit obtenu est conservé dans des flacons bien bouchés. Il est prudent d'en calciner la quantité nécessaire au dosage au moment même de l'emploi, afin de chasser les traces d'ammoniaque que la magnésie aurait pu absorber.

Recherche des sulfocyanures dans les sulfates d'ammoniaque. — Il arrive quelquefois que des sulfates d'ammoniaque, surtout ceux qui proviennent de la fabrication du gaz d'éclairage, contiennent du sulfocyanhydrate d'ammoniaque, corps excessivement vénéneux, pour les plantes aussi bien que pour les animaux. L'emploi de ce produit peut avoir dans les cultures un effet désastreux ; il faut donc rejeter complètement les substances qui en renferment. Il suffit de rechercher qualitativement la présence de ce composé : on regardera comme impropre à l'usage agricole tout sulfate d'ammoniaque dans lequel on constatera sa présence. On dissout une petite quantité de sulfate d'ammoniaque dans l'eau ; on y ajoute quelques gouttes d'une solution étendue de perchlorure de fer, qui donne immédiatement une belle coloration rouge caractéristique.

7° *Dosage de l'ammoniaque dans un engrais complexe.*

Les engrais complexes contiennent généralement, outre l'ammoniaque toute formée, de la matière organique contenant de l'azote ; si l'on se servait, comme pour un sulfate d'ammoniaque, de chaux pour déplacer l'alcali volatil, on risquerait de transformer en ammoniaque une partie de cet azote organique, et l'on aurait ainsi un dosage défectueux.

Pour empêcher cette action de se produire, on remplace la chaux par de la magnésie, qui n'a qu'une action extrêmement faible sur les matières organiques azotées. L'opération se fait de la même manière que pour le sulfate d'ammoniaque, en opérant sur 1 gramme d'engrais et environ 1 gramme de magnésie calcinée. Si l'engrais est riche en sels ammoniacaux, on prend l'acide sulfurique titré normal, dont on opère la saturation au moyen de la liqueur de potasse.

Si, au contraire, l'engrais est pauvre, on remplace l'acide sulfurique normal par l'acide sulfurique décime ; dans ce dernier cas, le titrage de cet acide se fait au moyen d'eau de chaux : 10 centimètres cubes d'acide décime correspondent à 0.02124 d'ammoniaque, soit à 0.0175 d'azote.

On vient d'exposer la méthode qui consiste à distiller directement la matière avec de l'eau et de la magnésie. Ce procédé rencontre quelquefois des difficultés assez grandes, surtout lorsqu'on est forcé d'opérer sur de notables quantités de matière en raison de leur teneur en ammoniaque ; tel est le cas du fumier de ferme, par exemple. En appliquant directement le feu sous le ballon, on risque de surchauffer la matière, qui se colle au fond, et l'on peut ainsi produire de l'ammoniaque aux dépens de la matière organique azotée. Cet inconvénient peut être évité d'une manière complète au moyen d'un bain de chlorure de calcium, dans lequel on fait plonger le ballon. Le bain est chauffé de manière à permettre l'ébullition du liquide contenu dans le ballon.

Il est préférable dans beaucoup de cas, au lieu de distiller la matière elle-même, d'extraire par le lavage l'ammoniaque qui est contenue et de distiller le liquide ainsi obtenu après l'avoir rendu alcalin au moyen de la magnésie.

Lorsqu'il y a peu de matière organique dans la substance à analyser, le

lavage peut s'opérer à l'eau ; mais dans le cas où l'on est en présence de beaucoup de matières organiques, et notamment des matières brunes des fumiers, une partie de l'ammoniaque pourrait être retenue dans des combinaisons insolubles ; il faut dans ce cas, lorsqu'on veut opérer le lavage, se servir d'eau légèrement acidulée d'acide chlorhydrique, afin de détruire la combinaison de ces matières avec l'ammoniaque qui entre ainsi en solution. Dans ce dernier cas, avant de procéder à la distillation, il faut saturer l'acide par de la magnésie, dont on mettra d'ailleurs un excès.

La précaution de traiter au préalable par un acide est indispensable lorsqu'il existe dans la matière du phosphate ammoniaco-magnésien, qui n'est que difficilement décomposé par la magnésie quand il se trouve à l'état concret. Mais lorsqu'il a été au préalable dissous par un acide, il laisse facilement dégager son ammoniaque sous l'influence de la magnésie.

Quand on a recours à l'acide, on peut opérer sur une quantité notable de matière, soit par exemple 50 grammes ; dans ce cas, on décantera le liquide dans un ballon jaugé de 1 litre et en lavant à plusieurs reprises le résidu, on arrivera au volume de 1 litre. De ce liquide rendu homogène, on prendra une fraction déterminée, soit 20 centimètres cubes correspondant à 1 gramme de matière, soit plus si la quantité d'ammoniaque est faible.

Les liqueurs acides, dans lesquelles on doit rechercher l'ammoniaque, ne doivent jamais subir pendant longtemps le contact de l'air, qui pourrait augmenter la proportion de cet alcali. Pour la même raison, on doit éviter la proximité de vapeurs ammoniacales pendant ces manipulations.

Il arrive quelquefois que, dans ces opérations, l'eau qui distille entraîne de l'acide carbonique qui reste dissous dans la liqueur distillée. Le titrage se fait alors d'une manière incertaine, et il convient, avant de titrer, de se débarrasser de cet acide carbonique. On y arrive en chauffant à l'ébullition pendant quelques instants la liqueur contenue dans le ballon, en ayant grand soin d'éviter toute projection ; on opère alors le dosage comme précédemment et sans laisser refroidir.

8° *Dosage de l'acide nitrique dans les nitrates (méthode de M. Schlœsing).*

Ce procédé est basé sur la transformation intégrale de l'acide nitrique en bioxyde d'azote, qu'on recueille à l'état gazeux et dont on prend le volume ; il s'applique non seulement aux nitrates commerciaux, mais encore aux engrais dans lesquels on a introduit des nitrates (Voy. page 380).

On compare le volume du bioxyde formé à celui que donne une même quantité de nitrate parfaitement pur ; le rapport des deux volumes donne la proportion de nitrate réel contenu dans le produit essayé.

Mais pour que cette comparaison conduise à des résultats exacts, il faut rendre aussi égales que possible toutes les conditions de l'opération et par suite les erreurs relatives. On y arrive en s'arrangeant de manière à recueillir des volumes très voisins de bioxyde d'azote dans les deux cas du titrage et de l'essai, ce qu'il est toujours facile d'obtenir. Dans ce but il convient de faire d'abord l'essai avec la matière à analyser ; le volume de bioxyde d'azote étant lu, on emploie une quantité de liqueur titrée de nitrate pur telle qu'elle donne un volume à peu près égal.

Essai d'un nitrate de soude. — On prépare une liqueur titrée contenant par litre 66 grammes de nitrate de soude pur et sec; on prend également 66 grammes de nitrate à essayer, qu'on dissout et qu'on amène au volume de 1 litre. Cette quantité a paru convenable, parce que dans les conditions de l'expérience elle permet d'obtenir un volume de gaz voisin de 100 centimètres cubes.

Essai d'un nitrate de potasse. — Pour l'essai d'un nitrate de potasse, on opérera exactement de la même manière ; mais les liqueurs sont préparées en dissolvant 80 grammes de nitrate pur et autant de nitrate à essayer dans le volume de 1 litre. Ce chiffre est calculé également de manière à donner un volume de gaz voisin de 100 centimètres cubes.

Préparation de la solution de protochlorure de fer. — On prend 200 grammes de pointes de fer, on les met dans un ballon avec 100 centimètres cubes d'eau ; et on y ajoute peu à peu, en chauffant, assez d'acide chlorhydrique pour que le fer soit dissous ; on amène le volume de la liqueur à 1 litre.

Dosage du nitrate de soude dans un engrais complexe. 1° *Engrais riche en nitrate.* — On prend 66 grammes d'engrais, on broie dans un mortier de verre et on traite dans le mortier même par de l'eau ; le liquide est versé dans un ballon de 1 litre et l'engrais est lavé à plusieurs reprises. Tous les liquides décantés sont réunis dans le ballon jaugé ; on complète le volume à 1 litre ; le nitrate est entré en solution, et on opère avec cette solution claire, filtrée s'il est nécessaire, comme s'il s'agissait d'un nitrate de soude, mais au lieu d'introduire dans le ballon seulement 5 centimètres cubes de liqueur, on prend plusieurs fois 5 centimètres cubes, suivant la richesse de l'engrais, de manière à avoir un volume de bioxyde d'azote qui ne soit pas trop inférieur à 100 centimètres cubes : soit n le nombre de pipettes de 5 centimètres cubes employées ; soit V le volume de gaz obtenu avec 5 centimètres cubes de solution titrée de nitrate de soude pur, V' le volume de gaz obtenu avec la matière, on aura pour la quantité de nitrate contenu dans 100 d'engrais $\frac{V'}{nV} \times 100$.

2° *Engrais pauvres en nitrate.* — On prend 66 grammes d'engrais ; on les broie dans un mortier, on les délaye dans l'eau, on laisse reposer pendant quelques moments, on décante dans un ballon jaugé de 1 litre la liqueur surnageante ; on lave plusieurs fois le résidu resté dans le mortier ; on transvase constamment la liqueur surnageante dans le ballon jaugé, jusqu'à ce qu'on ait complété le volume de 1 litre.

On mélange cette liqueur et on y ajoute par petites portions de la chaux éteinte, jusqu'au moment où la liqueur bleuit le papier rouge de tournesol ; on prélève 500 centimètres cubes, on les évapore dans une capsule de porcelaine, et on les amène exactement au volume de 50 centimètres cubes. On opère alors avec cette liqueur comme on a fait pour l'engrais riche en nitrate ; le calcul se fait de la même manière, mais il faut diviser pour 10 le résultat obtenu.

L'addition de chaux a pour objet d'empêcher l'acide nitrique d'être déplacé par les acides sulfurique ou phosphorique libres dans le cas où l'on opérerait en présence d'un superphosphate.

Lorsque l'engrais est excessivement pauvre en nitrate, c'est-à-dire lorsqu'il en contient à peine 1 p. 100, on peut, au lieu de continuer à ajouter de la solution dans le ballon jusqu'au moment où on a obtenu un volume de bioxyde

d'azote voisin de 100 centimètres cubes, s'arrêter à un volume inférieur. Le calcul se fait du reste de la même manière.

Pour calculer en acide nitrique, on multiplie par 0.6207 le nitrate de soude trouvé. Pour calculer en azote nitrique, on multiplie le nitrate de soude par 0.1647.

Remarque. — Il arrive quelquefois que les engrais contiennent des carbonates solubles; dans ce cas l'acide carbonique, se dégageant en même temps que le bioxyde d'azote, pourrait augmenter le volume de ce gaz, et, par suite, conduire à un résultat trop fort. On peut s'assurer de la présence de ces carbonates solubles en délayant, dans 20 ou 30 centimètres cubes d'eau, une dizaine de grammes d'engrais; on jette sur un filtre et, dans quelques centimètres cubes de la liqueur filtrée, on verse un peu d'acide chlorhydrique; s'il y a dégagement de bulles gazeuses, on conclut à la présence de carbonates solubles. Dans ce cas, au lieu de faire la trituration dans le mortier avec de l'eau pure, on emploie de l'eau contenant 3 à 4 p. 100 d'acide chlorhydrique. Lorsque toute effervescence a cessé et que la liqueur reste acide, on continue les lavages avec de l'eau pure jusqu'au volume de 1 litre, en suivant la marche indiquée; mais lorsqu'on est forcé de soumettre le liquide à l'évaporation, on ne peut pas opérer avec un liquide acide de peur de perdre l'acide nitrique: alors, ayant amené le liquide neutre ou alcalin à un volume très réduit, on décompose les carbonates par une addition d'acide acétique; ce n'est qu'après cette addition qu'on amène au volume de 50 centimètres cubes et qu'on continue le dosage comme plus haut. L'acide carbonique ayant été éliminé ne peut plus fausser les résultats.

Quelques matières fertilisantes, telles que les guanos, peuvent contenir de l'acide oxalique. La décomposition partielle de cet acide peut produire des gaz acide carbonique et oxyde de carbone, qui viennent s'ajouter au bioxyde d'azote et faussent ainsi le dosage. Il est facile de se mettre à l'abri de cette cause d'erreur en ajoutant à la matière, avant la dissolution, un peu de chaux qui maintient l'acide oxalique insoluble à l'état d'oxalate de chaux. Les liqueurs claires, dans lesquelles on dose les nitrates, sont ainsi complètement débarrassées d'acide oxalique.

VI. — Dosage de l'acide phosphorique sous ses divers états.

1° *Remarques générales sur l'acide phosphorique.*

On trouve dans le commerce les phosphates à des états différents :

1° Phosphates minéraux, constitués par du phosphate de chaux tribasique, plus ou moins mélangé de carbonate de chaux, de matières siliceuses, etc., et amené à des degrés divers de finesse par des moyens mécaniques;

2° Phosphate d'os verts broyés; phosphate d'os dégélatinés; noir animal, noir de raffinerie, de sucrerie, etc.;

3° Phosphates dans les produits tels que fumier, poudrette, guano, etc.;

4° Phosphates traités par les procédés chimiques; superphosphates d'os ou minéraux, phosphates précipités, phosphate ammoniaco-magnésien;

5° Phosphates provenant des traitements métallurgiques tels que ceux des scories.

Tous les phosphates peuvent être employés en agriculture pour apporter aux plantes l'acide phosphorique, et tous sont susceptibles d'être assimilés, dans une certaine mesure, par l'organisme végétal. Mais leur faculté d'être utilisés par les plantes varie beaucoup, suivant la forme sous laquelle se présente l'acide phosphorique ; dès lors il était rationnel que des distinctions d'origine et des différences de valeur fussent introduites dans le commerce de matières aussi variées. Mais, pour régler équitablement les prix, il eût fallu posséder des notions vraies, acquises par la comparaison expérimentale des effets que produisent les divers phosphates dans les conditions diverses de la culture. En l'absence de semblables notions, on a imaginé des conventions arbitraires ne reposant point sur l'expérience, d'où sont résultées des différences considérables entre les prix de l'unité d'acide phosphorique dans les matières phosphatées, notamment entre les prix de cette unité dans les produits d'industrie : superphosphates, phosphates précipités, phosphates enrichis, et les prix de la même unité dans les engrais phosphatés n'ayant pas subi de traitement : phosphates naturels, os, poudrette, etc.

Il convient d'entrer sur ce point dans quelques développements, avant de décrire les méthodes d'analyse applicables aux diverses matières phosphatées.

Lorsque Liebig conseilla, vers 1843, de solubiliser l'acide phosphorique des os au moyen d'un traitement par un acide, tous les physiologistes et agronomes étaient persuadés que la solubilité dans l'eau d'un aliment minéral des plantes est la condition première de son absorption. Des essais institués alors en Angleterre, pour comparer les effets des os broyés et du superphosphate d'os, donnèrent un avantage marqué à ce dernier, et déterminèrent la création d'une fabrication qui prit rapidement de grands développements, surtout quand elle admit comme matière première les phosphates minéraux.

Naturellement l'acide phosphorique acquit dans les superphosphates une valeur beaucoup plus grande que celle qu'il avait avant traitement dans le phosphate minéral ou phosphorite. La nouvelle industrie se propagea en France, en Allemagne. Mais une difficulté imprévue ne tarda pas à se produire : la rétrogradation (Voy. page 743). L'acide phosphorique perdait graduellement sa solubilité première dans les superphosphates provenant de certaines phosphorites.

Quelle valeur fallait-il donner à cet acide rétrogradé que l'eau ne dissolvait plus et dont pourtant le mode de combinaison primitif avait été certainement détruit par l'acide sulfurique? En Angleterre, les agriculteurs, fidèles à leur opinion sur la solubilité nécessaire des aliments des plantes, ne voulurent payer que l'acide soluble à l'eau : c'est pourquoi les fabricants s'étudièrent à éviter la rétrogradation, soit en employant un excès d'acide sulfurique, soit en choisissant de préférence certaines phosphorites. Les usages anglais passèrent en Allemagne. Il en fut autrement en France. Les chimistes avaient introduit dans l'analyse des phosphates un réactif précieux, le citrate d'ammoniaque, ayant la propriété de dissoudre l'oxyde de fer, l'alumine, les phosphates de ces deux oxydes, quand ces matières n'offrent qu'une très faible cohésion : il peut même laisser précipiter à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien la totalité de l'acide phosphorique, tout en gardant intégralement les oxydes ; il réalise ainsi, d'une manière simple, une séparation autrefois très laborieuse. A cette propriété précieuse, on crut en France pouvoir en

ajouter une autre qui serait plus sérieuse encore si elle pouvait être admise comme réelle : on fit du citrate le moyen de mesurer l'efficacité comme engrais, et, par suite, la valeur vénale de l'acide phosphorique contenu dans les diverses matières phosphatées.

Pour en venir là, on supposait que la faculté d'être assimilés est, chez les phosphates, non plus en relation directe avec la solubilité dans l'eau, comme on l'admet en Angleterre, mais bien en relation inverse avec la cohésion : le phosphate de moindre cohésion devenant le plus assimilable. La solubilité dans le citrate était assurément le signe d'une très faible cohésion : ce réactif partagea tous les phosphates en deux catégories : les phosphates solubles au citrate, les insolubles.

Puis l'usage fut introduit d'appeler du nom d'assimilables les phosphates solubles dans ce réactif; l'acide des superphosphates, des phosphates précipités, des phosphates enrichis, c'est-à-dire l'acide des produits livrés par l'industrie chimique, se trouva soluble dans le citrate et réputé dès lors assimilable. Implicitement, le public devait croire et crut en effet que l'acide des phosphates insolubles au citrate était non assimilable, ou tout au moins peu assimilable, et il accorda à l'acide soluble au citrate une valeur double et parfois triple de la valeur de l'acide des phosphates insolubles.

De tels errements ne sont plus permis aujourd'hui; il est certain que l'assimilabilité d'un phosphate ne dépend pas de sa solubilité dans le citrate : qu'une racine rencontre, vers son extrémité, un fragment d'os, de nodule des Ardennes, de phosphorite du Lot (?) elle dissoudra et absorbera du phosphate en vertu de ses sucs propres, et malgré la cohésion qui rend ce fragment insoluble dans le citrate. Cela ne veut pas dire que la cohésion ne joue aucun rôle : un fragment d'apatite ou de quelque autre combinaison douée d'une grande dureté se laisse probablement moins attaquer qu'un autre fragment de phosphate plus tendre; il n'en demeure pas moins acquis que le plus grand nombre des phosphorites peut servir d'aliment direct pour les plantes, sans passer par la désagrégation sulfurique; il est tout aussi certain que les phosphates d'os, les phosphates du fumier, des poudrettes, des guanos, insolubles dans le citrate, sont néanmoins parfaitement assimilables et assimilés par la végétation. Des expériences de comparaison instituées dans ces dernières années en France, en Belgique, en Allemagne, en Angleterre, ont montré que l'acide phosphorique soluble à l'eau, l'acide des superphosphates rétrogradés, l'acide des phosphates précipités produisent des effets de même ordre, et que l'acide des phosphorites produit, dans beaucoup de cas, des récoltes sensiblement égales à celles que donnent les phosphates ayant subi un traitement chimique (??). Même, dans les terrains chargés de matière organique et pauvres en chaux, l'avantage demeure aux phosphates d'os, au noir, aux phosphorites.

C'est qu'en effet, il paraît très probable aujourd'hui que la diffusion de l'engrais au sein du sol joue le rôle essentiel dans son utilisation : cette diffusion est produite, dans les superphosphates, par la solubilité de l'acide libre ou combiné, qui se diffuse autour de chaque parcelle d'engrais, dans un certain rayon, limité par l'insolubilisation de l'acide phosphorique au contact de l'oxyde de fer, de l'alumine, du calcaire du sol; dans les phosphates minéraux, elle est déterminée surtout par l'extrême pulvérisation, l'épandage soigné et les labours; mais que la diffusion soit chimique, comme dans le

premier cas, ou mécanique, comme dans le second, on peut regarder son degré de perfection comme déterminant le degré d'utilisation (1).

Pour que les phosphates naturels donnent des résultats se rapprochant de ceux des phosphates traités par des moyens chimiques, il est donc nécessaire qu'ils soient amenés à un degré de division mécanique très grand, se rapprochant, autant que possible, du degré de finesse que donne une désagrégation par l'acide sulfurique.

La chimie ne possède d'ailleurs aucun moyen de mesurer, par l'analyse e degré d'assimilabilité, degré variable qui dépend beaucoup des conditions d'emploi. Il n'est pas nécessaire qu'elle fournisse une semblable mesure; sa tâche est de doser exactement l'acide phosphorique sous ses divers états.

Que les agriculteurs abandonnent les préjugés sur la valeur relative des divers phosphates, préjugés qui leur causent de graves préjudices, et qu'ils instituent à leur tour des essais comparatifs. C'est à eux qu'il appartient de déterminer la valeur agricole comparative des engrais, par leur expérience propre et en raison des résultats obtenus, et, par suite, de régler les rapports entre les prix de l'acide phosphorique des divers engrais, d'après les effets qu'ils auront observés.

En définitive, le citrate d'ammoniaque ne peut pas être considéré comme le critérium de l'assimilabilité d'un phosphate ; il est essentiel que les marchands d'engrais et les agriculteurs soient bien éclairés sur ce point. Il est également essentiel que les tribunaux appelés à juger leurs contestations sachent bien qu'un phosphate peut être dit assimilable, alors même qu'il n'est pas soluble au citrate.

On ne doit donc pas réserver la dénomination d'assimilables aux seuls phosphates ayant subi des traitements chimiques et solubles dans le citrate, parce que cette dénomination laisse supposer implicitement que l'acide phosphorique des autres engrais phosphatés n'est pas assimilable, et qu'ainsi elle établit en faveur des premiers une supériorité et une plus-value qui ne sont pas justifiées dans beaucoup de cas : la dénomination d'assimilables peut être, à bon droit, appliquée à des phosphates qui résistent à l'action du citrate d'ammoniaque.

2° *Dosage de l'acide phosphorique dans un phosphate de chaux naturel.*

Les phosphates de chaux naturels, dont l'emploi est si fréquent en agriculture, présentent les compositions les plus variées ; leur richesse est quelquefois bien inférieure à celle qui leur est attribuée ; ils sont fréquemment fraudés avec des matières inertes. Le plus souvent, on les trouve sous la forme pulvérulente. L'acide phosphorique est le seul élément qu'il y ait en général intérêt à y chercher.

Méthode dite commerciale. — On a souvent employé et l'on emploie encore quelquefois une méthode appelée *commerciale*, qui consiste à dissoudre le phosphate dans l'acide chlorhydrique bouillant, à filtrer et à ajouter de l'ammoniaque dans la liqueur filtrée. On obtient un précipité qui renferme le phos-

(1) Le lecteur de cet ouvrage a pu vu voir que je ne partage pas sur ce point les opinions émises par la commission consultative.

phate de chaux, mais qui contient en même temps tout l'oxyde de fer et toute l'alumine que l'acide chlorhydrique avait dissous. Le dosage se trouve ainsi être inexact, et, dans beaucoup de cas, cette inexactitude atteint des proportions énormes. Il peut même arriver que des matières ne contenant aucune trace de phosphate accusent, par ce procédé, des quantités de phosphate considérables. Aussi cette méthode a t-elle été l'occasion et la base de fraudes innombrables.

Ce procédé doit être rejeté d'*une manière absolue;* son usage doit être *interdit* et aucune transaction ne doit se faire sous la garantie de l'analyse dite *commerciale.*

Les chimistes qui consentent à employer ce procédé se font les complices d'une des fraudes les plus considérables dont l'agriculture puisse être l'objet.

3° *Méthode par le phosphate ammoniaco-magnésien.*

On prend 1 gramme de phosphate finement pulvérisé; on l'introduit dans un ballon à fond plat de 200 centimètres cubes de capacité, avec 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, et 20 centimètres cubes d'eau; on fait bouillir au bain de sable pendant un quart d'heure; on transvase dans une capsule à fond plat, en lavant plusieurs fois le ballon, sans se préoccuper des matières terreuses qui peuvent y rester, puis on évapore à sec au bain de sable, afin de rendre insoluble la silice qui s'était dissoute. On reprend par 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 20 centimètres cubes d'eau; on chauffe de nouveau quelques minutes, on verse sur un petit filtre sans plis et on lave cinq ou six fois, chaque fois avec 5 centimètres cubes d'eau chaude; le volume de la liqueur recueillie ne doit pas dépasser 100 centimètres cubes.

Lorsque la matière est peu homogène, il est bon d'opérer sur une plus grande quantité de matière, soit, par exemple, 20 grammes, qu'on attaque d'ailleurs de la même manière, mais par une quantité d'acide chlorhydrique beaucoup plus grande. On amène le volume à 1 litre et l'on prend 50 centimètres cubes de cette solution, qui représente 1 gramme de phosphate. On évapore à sec pour séparer la silice et l'on continue le traitement comme il vient d'être dit.

Dans l'un ou l'autre cas, on ajoute à cette liqueur de l'ammoniaque par petites quantités, jusqu'au moment où il se produit un trouble, et alors, peu à peu, une solution d'acide citrique à 25 p. 100, en agitant constamment jusqu'au moment où le précipité s'est redissous. On ajoute de nouveau de l'ammoniaque par petites portions; si la liqueur rendue ainsi ammoniacale ne se trouble plus par ces additions, il y a, dans la liqueur, assez de citrate d'ammoniaque pour maintenir en solution le fer et l'alumine; si, au contraire, l'addition d'ammoniaque a de nouveau produit un trouble, il faut encore une fois rajouter de l'acide citrique et ainsi, alternativement, de l'ammoniaque et de l'acide citrique, par petites portions, jusqu'au moment où la liqueur, tout en étant ammoniacale, est restée claire.

L'acide citrique a pour but de maintenir en solution la chaux, l'alumine et l'oxyde de fer, en formant des sels doubles avec l'ammoniaque. Il arrive toutefois, lorsqu'il y a de la magnésie dans la matière analysée, qu'on n'a pas un liquide absolument clair, par suite de la formation de phosphate ammoniaco-magnésien, mais on reconnaît facilement ce précipité qui est cristallin, et il

n'y a pas lieu de s'en préoccuper. On ajoute 35 centimètres cubes d'ammoniaque et 15 centimètres cubes d'une solution contenant 10 p. 100 de chlorure de magnésium; on agite sans frotter les parois du vase avec la baguette, afin d'éviter la formation d'un dépôt adhérent sur le verre; on couvre avec une plaque de verre, ou bien on place sous une cloche et on laisse reposer pendant douze heures au moins. Il arrive souvent, lorsque le phosphate sur lequel on opère contient beaucoup de chaux, qu'il se précipite, en même temps que le phosphate ammoniaco-magnésien, une matière gélatineuse constituée par du citrate de chaux. Dans ce cas, non seulement le dosage du phosphate est trop élevé, mais encore la filtration devient extrêmement lente. On peut éviter la formation de ce précipité en opérant sur des liqueurs plus étendues et en rajoutant de plus grandes quantités d'acide citrique.

C'est surtout dans le cas où il y a relativement peu d'acide phosphorique que cet effet se produit; on fait mieux alors d'employer la méthode au molybdate d'ammoniaque.

Au bout de douze heures, l'acide phosphorique est entièrement précipité à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. On recueille le précipité sur un petit filtre plat; on détache avec une barbe de plume la matière adhérente et on la fait tomber sur le filtre au moyen d'eau contenant un tiers de son volume d'ammoniaque, mélange qui sert également pour achever le lavage, qu'il ne faut pas prolonger outre mesure; 30 à 40 centimètres cubes d'eau ammoniacale, employés par petites portions, suffisent amplement à ces lavages. Si l'on employait de l'eau pure, on dissoudrait une partie de phosphate ammoniaco-magnésien; celui-ci est presque totalement insoluble dans l'eau ammoniacale. On fait sécher le filtre à l'étuve; on détache la matière; on brûle le filtre au rouge dans un creuset de platine; on rajoute la matière et l'on maintient le rouge pendant quelques minutes; le phosphate ammoniaco-magnésien se transforme en pyrophosphate de magnésie. Souvent le produit calciné est noir; il suffit pour lui enlever cette couleur, due à la présence d'un peu de charbon, de l'arroser avec deux ou trois gouttes d'acide azotique et de le calciner de nouveau.

Le poids obtenu, étant multiplié par 0,639, donne l'acide phosphorique contenu dans la matière analysée. Pour calculer cet acide phosphorique en phosphate tribasique de chaux, on le multiplie par 2,18.

Il importe de faire remarquer ici que le phosphate ammoniaco-magnésien contient quelquefois de petites quantités de magnésie ou de chaux, et que, par suite, en opérant comme nous venons de le dire, on peut doser l'acide phosphorique trop haut. On est averti de la présence de ces impuretés par l'aspect du précipité, qui n'est plus entièrement cristallin et qui devient partiellement floconneux. Dans ce cas, il est indispensable de redissoudre le phosphate ammoniaco-magnésien dans le verre même dans lequel il s'était précipité, après qu'on a séparé par filtration à peu près toutes les eaux mères. On commence à verser sur le filtre égoutté 10 centimètres cubes d'eau contenant 5 p. 100 d'acide azotique et on continue avec cette même liqueur le lavage du filtre, en recueillant dans le vase dans lequel est restée la plus grande partie du phosphate ammoniaco-magnésien; le volume total ne doit pas dépasser 30 à 40 centimètres cubes. La dissolution étant obtenue, on ajoute 4 ou 5 gouttes de citrate d'ammoniaque et autant de réactif magnésien, et on sursature par l'am-

moniaque dont on met un grand excès (10 à 15 centimètres cubes); on laisse déposer pendant quelques heures et on recueille ensuite le phosphate ammoniaco-magnésien, débarrassé des impuretés qu'il avait retenues primitivement.

Quand les phosphates contiennent de la matière organique, il faut les calciner au préalable : c'est le cas des os et des noirs d'os.

4° Modification au procédé précédent (méthode de M. Aubin).

Dans la détermination de l'acide phosphorique contenu dans les phosphates naturels et minéraux, on s'expose, en suivant la méthode indiquée par Brassier, à des erreurs en plus, provenant des substances entraînées avec le précipité de phosphate ammoniaco-magnésien. Les substances qui viennent s'ajouter au dosage sont la silice, la chaux, la magnésie et, quelquefois, le fluorure de magnésium dans le cas des phosphates renfermant du spath-fluor. Plusieurs chimistes ont tourné la difficulté, ou bien en titrant l'acide phosphorique par l'urane, ou bien en dissolvant le phosphate ammoniaco-magnésien et le reprécipitant par l'ammoniaque; enfin, on a proposé de se débarrasser de la majeure partie de la chaux, soit au moyen du nitrate de fer, soit au moyen de l'acide sulfurique et de l'alcool. Ces divers procédés ont leurs inconvénients dans la pratique : les uns sont relativement longs, et les autres n'offrent pas toujours la précision désirable. Au contraire, les causes d'erreurs disparaissent si l'on ajoute à la liqueur résultant de l'attaque du phosphate, dont l'acide chlorhydrique a été au préalable saturé par l'ammoniaque, un excès d'acide acétique, et si l'on précipite la chaux au moyen de l'oxalate d'ammoniaque; l'acide phosphorique, le sesquioxyde de fer et l'alumine restent en dissolution, tandis que la chaux se précipite en entraînant avec elle de la silice et du fluor.

Pour l'analyse des phosphates, voici la marche suivie par M. Aubin : dans un ballon de 200 grammes environ, on attaque 1 gramme du produit pulvérulent par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, maintenus à l'ébullition pendant dix minutes; ensuite on ajoute 50 centimètres cubes d'eau et 20 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque alcalin, préparé d'après la formule de M. Joulie, puis 10 centimètres cubes d'acide acétique à 8 degrés B., en s'assurant que la liqueur est franchement acide. On porte la liqueur à l'ébullition; on y projette environ $1^{gr},5$ d'oxalate d'ammoniaque, quantité suffisante dans la plupart des cas; lorsque la proportion de chaux est très élevée, on s'assure, par quelques gouttes de solution d'oxalate d'ammoniaque, qu'elle est entièrement précipitée. S'il n'en était pas ainsi, on ajouterait encore quelques décigrammes d'oxalate en cristaux. On cesse de chauffer au bout de quelques minutes. La liqueur s'éclaircit rapidement; elle est décantée sur un filtre et le résidu insoluble est lavé à plusieurs reprises à l'eau bouillante jusqu'à ce que l'on ait obtenu le volume de 200 centimètres cubes. Après les premiers lavages à l'eau, on ajoute sur l'oxalate de chaux 1 ou 2 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque destinés à en extraire les petites quantités d'acide phosphorique entraîné et l'on achève le lavage comme il vient d'être dit. Après refroidissement, on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution magnésienne contenant $1^{gr},5$ de chlorure de magnésium cristallisé (1), et 30 centimètres cubes d'ammoniaque.

(1) Le réactif magnésien se prépare en dissolvant 150 grammes de chlorure de

Pour que la précipitation de l'acide phosphorique soit complète, il faut qu'il y ait un excès de magnésie dans la liqueur. Dans les conditions où s'effectue le dosage que nous recommandons ici, il est nécessaire que cette magnésie en excès sur l'acide phosphorique soit de 250 à 350 milligrammes. Un excès moindre pourrait faire perdre un peu d'acide phosphorique; un excès trop grand pourrait au contraire donner une surcharge attribuable à du phosphate tribasique de magnésium entraîné. On mettra donc des quantités de liqueurs magnésiennes variables avec la proportion présumée d'acide phosphorique, de manière à avoir toujours l'excès voulu. Dans ces conditions, aucun entraînement de magnésie n'est à craindre.

Il est utile de ne mettre l'ammoniaque qu'après avoir ajouté la liqueur magnésienne : on risque moins d'entraîner du phosphate de fer dans le précipité formé.

Le phosphate ammoniaco-magnésien est recueilli sur un filtre au bout de douze heures, et lavé à l'eau ammoniacale au tiers. On sèche, on incinère et l'on pèse, après avoir, comme il est dit plus haut, traité par deux ou trois gouttes d'acide azotique; le poids obtenu, multiplié par 63,963, donne le taux pour 100 de l'acide phosphorique contenu dans la substance analysée. En opérant comme il vient d'être dit, on peut se dispenser d'éliminer au préalable la silice; on est à l'abri de l'intervention de la chaux, et l'on n'a pas à craindre d'avoir du fluor dans le précipité. En outre, le grand volume de liquide s'oppose à l'entraînement de la magnésie. Ce grand volume n'est pas, comme on pourrait le craindre, une cause de perte d'acide phosphorique; le liquide n'en contient aucune quantité appréciable, l'excès de magnésie rendant le phosphate ammoniaco-magnésien insoluble.

Cependant il peut arriver que le pyrophosphate de magnésie obtenu ne soit pas absolument pur : il peut contenir de la silice, alors même qu'on a évaporé à sec au préalable; il peut aussi renfermer du phosphate de fer. Il est facile de s'assurer de la présence de ces deux substances et de faire, s'il y a lieu, la correction. Dans aucun cas leur recherche qualitative, qui ne prend que quelques instants, ne doit être négligée.

Après la pesée, on dissout, dans le vase même qui a servi à la pesée, par de l'acide azotique; s'il reste un résidu appréciable de silice, on le pèse et on le défalque du poids du pyrophosphate. Après élimination de la silice, on étend à 100 centimètres cubes environ; on neutralise par l'ammoniaque jusqu'à bleuissement du papier de tournesol, puis on fait redissoudre le précipité de phosphate ammoniaco-magnésien formé, par l'acide acétique mis en léger excès. La liqueur doit demeurer claire et ne pas se troubler au bout de quelques heures; l'absence de phosphate de fer est alors constatée. S'il s'en trouve, on peut le recueillir, le peser et diminuer le poids de l'acide phosphorique, calculé d'après le poids du pyrophosphate corrigé de la silice, de 1/4 de milligramme par chaque milligramme de phosphate de fer obtenu.

Dans la plupart des cas, ces corrections sont inutiles; si elles devenaient trop fortes il serait prudent de recommencer le dosage.

Cette manière d'opérer donne une grande sécurité. Il est commode, pour

magnésium cristallisé et 150 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque dans une quantité d'eau suffisante pour faire le volume de 1 litre. 10 centimètres cubes de cette liqueur précipitent 50 centigrammes d'acide phosphorique.

l'emploi de ce procédé, d'avoir des vases à précipiter portant deux traits de jauge, l'un à 200 centimètres cubes, l'autre à 250 centimètres cubes (1).

5° *Dosage de l'acide phosphorique dans les guanos, poudrettes, etc.*

Les guanos et les engrais similaires doivent en général leur valeur à l'azote, mais il y en a dans lesquels celle de l'acide phosphorique prédomine.

Pour doser l'acide phosphorique, on opère sur 2 grammes de matière ; on les mélange, dans une capsule de porcelaine à fond rond, avec un décigramme de chaux éteinte pour empêcher la réduction éventuelle de phosphate acide par la matière organique, réduction qui entraînerait des pertes de phosphore. Le tout étant imbibé d'une dizaine de gouttes d'eau, on sèche au bain de sable et l'on chauffe la matière au rouge, sur un bec de gaz ou au moufle. On détache la matière et on la fait tomber dans un ballon à fond plat, de 200 centimètres cubes ; on verse dans la capsule, en deux fois, 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, puis on la lave avec 10 centimètres cubes d'eau qu'on rajoute dans le ballon ; on fait bouillir au bain de sable pendant un quart d'heure. On verse dans une capsule à fond plat, en lavant le ballon quatre ou cinq fois avec de petites quantités d'eau ; on évapore à sec pour rendre la silice insoluble ; on reprend par 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 10 centimètres cubes d'eau ; on fait chauffer au bain de sable pendant quelques minutes ; on filtre ; on lave la capsule et le filtre avec de très petites quantités d'eau chaude, jusqu'à ce que la réaction de la liqueur ne soit plus acide, mais de manière à ne pas dépasser le volume de 60 à 80 centimètres cubes pour la totalité de la liqueur ; on traite alors par l'ammoniaque, l'acide citrique et le chlorure de magnésium, comme il a été dit à propos de l'analyse des phosphates.

Ce procédé ne permettrait pas de reconnaître, dans ces produits, l'addition frauduleuse de phosphate qui aurait pu être faite dans le but de vendre, au prix du phosphate de guano et de poudrette, le phosphate naturel d'une valeur moindre.

6° *Dosage de l'acide phosphorique dans un phosphate précipité.*

Lorsque l'acide phosphorique a été en solution et qu'il a été précipité par un lait de chaux, il forme un phosphate de chaux bibasique extrêmement divisé et qu'on regarde comme facilement assimilable par les végétaux. Le phosphate ainsi obtenu a la propriété d'être décomposé à l'ébullition par l'oxalate d'ammoniaque, et l'on a proposé d'employer cette propriété pour le séparer des phosphates naturels. Mais cette séparation n'est pas très parfaite, puisque ces derniers peuvent être également attaqués dans une assez forte proportion par le même réactif : nous conseillons d'employer pour ces phosphates précipités les mêmes procédés que pour les phosphates rétrogradés, c'est-à-dire de les mettre en contact avec le citrate d'ammoniaque

(1) Au lieu de peser le phosphate ammoniaco-magnésien, ce qui entraîne aux corrections multiples qui viennent d'être indiquées, on peut avec grand avantage employer la liqueur d'urane. Le procédé est décrit page 142. Je ne partage pas l'avis de la Commission qui n'a pas vulu inscrire ce procédé parmi ceux qu'elle recommande, j'en fais usage depuis vingt ans et je le considère comme très exact.

qui en opère la dissolution. Mais le citrate ne dissout pas toujours tout le phosphate précipité, surtout lorsque celui-ci a été desséché à une température trop élevée; il faudra donc en outre doser l'acide phosphorique total.

7° *Dosage de l'acide phosphorique dans un engrais ou un phosphate par le molybdate d'ammoniaque.*

La précipitation par le molybdate d'ammoniaque peut être utilisée pour le dosage des engrais phosphatés en général; elle permet d'éliminer toutes les substances qui entravent le dosage dans le procédé ordinaire.

5 grammes d'engrais phosphaté à analyser sont calcinés jusqu'à destruction de la matière organique, et attaqués dans un ballon par 20 centimètres cubes d'eau et 20 centimètres cubes d'acide azotique; on fait bouillir pendant un quart d'heure; puis, après refroidissement, on amène le volume total à 100 centimètres cubes. Lorsqu'on se trouve en présence d'un phosphate riche, on prend 10 centimètres cubes de cette solution correspondant à 5 décigrammes; pour les engrais moyennement riches en acide phosphorique (10 à 25 p. 100) on prend 20 centimètres cubes de liqueur, correspondant à 1 gramme; enfin, pour les engrais ayant moins de 10 p. 100 d'acide phosphorique, on prend 40 centimètres cubes représentant 2 grammes.

Quoi qu'il en soit, le volume est amené à 50 centimètres cubes, après qu'on a ajouté 10 centimètres cubes d'acide azotique et 6 à 7 grammes de cristaux d'azotate d'ammoniaque. Le liquide est placé dans un vase de Bohême d'au moins 200 centimètres cubes de capacité; on y ajoute 50 centimètres cubes de liqueur molybdique par chaque décigramme d'acide phosphorique supposé contenu dans la liqueur, et l'on porte le mélange à 90 degrés au bain-marie pendant une heure. Au bout de ce temps on voit, sur une petite quantité de liqueur claire, si une nouvelle addition de molybdate ne détermine pas de précipité. Dans le cas affirmatif, il faudrait ajouter encore 50 centimètres cubes de liqueur molybdique et chauffer de nouveau pendant une heure au bain-marie à 90 degrés. On filtre et on lave au moyen d'une solution contenant 3 p. 100 de nitrate d'ammoniaque et 1 p. 100 d'acide azotique; puis on dissout dans quelques centimètres cubes d'ammoniaque et on lave le filtre avec de l'eau contenant 30 p. 100 d'ammoniaque, dont on ajoute une quantité totale d'environ 50 centimètres cubes. Dans cette liqueur on verse, peu à peu et en agitant constamment, 10 centimètres cubes du mélange magnésien ci-dessous par décigramme d'acide phosphorique supposé dans la liqueur. Au bout de quelques heures, on recueille sur un filtre le phosphate ammoniaco-magnésien formé et on le lave avec de l'eau contenant 30 p. 100 d'ammoniaque. On calcine le précipité et l'on pèse à l'état de pyrophosphate.

Lorsqu'on se trouve en présence de très petites quantités d'acide phosphorique, on évapore à sec après l'attaque par l'acide afin de séparer la silice. Dans ce cas, on pèse directement le phospho-molybdate qu'on a recueilli sur un double filtre dont l'un sert de tare à l'autre. Le précipité, lavé à l'eau acidulée par l'acide azotique et finalement avec quelques gouttes d'eau pure, est séché à une température ne dépassant pas 90 degrés; son poids, multiplié par 0,0438, donne le poids d'acide phosphorique. Cette dernière manière de

procéder n'est pas susceptible d'une grande exactitude et ne peut s'employer que quand on est en présence de quantités trop faibles d'acide phosphorique pour que la précipitation à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien lui soit applicable.

Préparation du molybdate d'ammoniaque. — 100 grammes d'acide molybdique sont dissous dans 400 grammes d'ammoniaque d'une densité de 0.95; on filtre et l'on reçoit le liquide, goutte à goutte, dans 1 kilogr. 5 d'acide azotique de 1.20 de densité, en agitant constamment. Ce mélange est abandonné pendant quelques jours dans un endroit chaud; il forme un dépôt. Pour l'emploi on décante la partie claire.

Préparation de la liqueur magnésienne. — On fait dissoudre 50 grammes de carbonate de magnésie pur et 100 grammes de chlorhydrate d'ammoniaque dans 120 centimètres cubes d'acide chlorhydrique additionné de 500 centimètres cubes d'eau; après dissolution, on ajoute 100 centimètres cubes d'ammoniaque à 22 degrés et l'on complète, avec de l'eau, le volume de 1 litre.

8° *Dosage de l'acide phosphorique solubilisé dans les superphosphates et dans les engrais chimiques.*

Dans les superphosphates, substances pulvérulentes résultant du traitement de phosphates naturels par l'acide sulfurique, il y a à doser non seulement l'acide phosphorique total, mais encore l'acide phosphorique modifié par le traitement chimique et existant à l'état soluble à l'eau et au citrate. Le plus souvent, ces deux derniers sont dosés en bloc, puisqu'on leur attribue une valeur commerciale peu différente. Il semblerait donc qu'en traitant directement par du citrate d'ammoniaque, on devrait dissoudre tout l'acide phosphorique existant sous ces deux formes. Il en est ainsi, en effet, lorsque l'engrais ne contient pas de magnésie; mais la présence fréquente de cette base donne naissance à du phosphate ammoniaco-magnésien, insoluble dans le citrate, et tout l'acide phosphorique correspondant à la magnésie échappera au traitement citro-ammoniacal.

La magnésie se trouve dans la matière à l'état de sulfate ou de phosphate acide soluble dans l'eau; on peut donc l'éliminer au préalable par un lavage et opérer le traitement par le citrate d'ammoniaque sur le résidu débarrassé de magnésie. Les deux liqueurs réunies après coup contiennent tout l'acide phosphorique qui a été modifié par l'action de l'acide sulfurique.

Mais le lavage à l'eau nécessite quelques précautions; les superphosphates contiennent en général de l'acide sulfurique libre d'un côté, et du phosphate non attaqué d'un autre côté; la réaction de l'un sur l'autre n'a pas pu se faire dans le mélange, dont l'homogénéité n'est jamais parfaite. Si l'on traite par l'eau un semblable produit et qu'on laisse le contact se prolonger, l'acide sulfurique libre pourra se porter sur le phosphate non attaqué et le solubiliser. On obtiendrait ainsi dans le dosage une quantité d'acide phosphorique soluble plus grande que celle qui existe en réalité dans le produit examiné. De là la nécessité de pratiquer très rapidement le lavage à l'eau.

Voici comment il convient d'opérer, en suivant la marche indiquée par M. Aubin :

Le produit est passé au tamis de 1 millimètre de mailles. On en pèse 1gr,500 que l'on dépose dans un mortier en verre. On ajoute environ 20 centimètres cubes d'eau distillée et l'on délaye légèrement avec le pilon sans broyer. Après une minute de repos on décante sur un filtre sans pli, appliqué sur un entonnoir reposant sur un ballon jaugé de 150 centimètres cubes. On renouvelle l'addition d'eau et les décantations trois ou quatre fois, en opérant très rapidement; puis on broye très finement la matière; on la recueille sur le filtre au moyen de la pissette et l'on continue le lavage jusqu'à parfaire le volume du ballon jaugé. Le contenu du ballon est versé après agitation dans un verre à pied. Ici trois cas peuvent se présenter : 1° on se propose seulement de doser l'acide phosphorique soluble dans l'eau ; 2° on veut connaître la totalité de l'acide phosphorique soluble dans l'eau et de l'acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque; 3° on demande séparément l'acide phosphorique soluble dans l'eau et l'acide phosphorique soluble dans le citrate d'ammoniaque.

Dans le premier cas, il suffit de soutirer, au moyen d'une pipette, 50 centimètres cubes de la liqueur d'épuisement, pour laisser dans le verre le liquide contenant l'acide phosphorique soluble dans l'eau, provenant de 1 gramme de superphosphate. On précipite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Dans le deuxième cas, on soutire également 50 centimètres cubes de la liqueur d'épuisement par l'eau distillée; d'un autre côté, on introduit le filtre contenant la matière lavée dans un ballon jaugé de 150 centimètres cubes avec 60 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque; on laisse en digestion pendant une heure en délayant la matière par l'agitation, et on laisse reposer pendant douze heures; on amène le volume à 150 centimètres cubes; on agite et l'on filtre ensuite le liquide, rendu homogène, sur un ballon jaugé de 100 centimètres cubes. Les 100 centimètres cubes de la liqueur d'épuisement par le citrate d'ammoniaque sont ajoutés aux 100 centimètres cubes restant dans le verre à dosage et contenant l'acide phosphorique soluble à l'eau. On a ainsi réuni les deux formes solubles de l'acide phosphorique provenant de 1 gramme de superphosphate. On les précipite également à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Dans le troisième cas, on enlève 50 centimètres cubes de la liqueur provenant de l'épuisement par l'eau pour doser l'acide phosphorique soluble à l'eau sur 1 gramme de superphosphate, et l'on opère le dosage du soluble au citrate avec 100 centimètres cubes du liquide obtenu dans le traitement par le citrate d'ammoniaque. On a ainsi encore opéré sur 1 gramme de la matière primitive.

On ajoute au liquide d'épuisement 20 centimètres cubes de citrate d'ammoniaque, dans le cas où il n'y en pas déjà, et 10 centimètres cubes d'une liqueur magnésienne contenant suffisamment de magnésie pour précipiter 5 décigrammes d'acide phosphorique, puis un volume d'ammoniaque égal au tiers du volume total. Dans ces conditions le phosphate ammoniaco-magnésien se précipite entièrement, parce que les liqueurs renferment un excès de magnésie et d'ammoniaque, et cependant ce précipité est pur, parce que les liqueurs sont suffisamment volumineuses pour maintenir en dissolution les substances qui ont une tendance à être entraînées. En général, on laisse

le précipité déposer toute la nuit ; le lendemain on le recueille sur un filtre ; on le lave à l'eau ammoniacale saturée de phosphate ammoniaco-magnésien ; on le sèche et on l'incinère au moufle. Les quelques particules de charbon qui n'ont pas été brûlées pendant l'incinération sont détruites par quelques gouttes d'acide nitrique et une seconde calcination. Le poids de pyrophosphate de magnésie obtenu, multiplié par 63.963, donne le taux p. 100 d'acide phosphorique dans le produit analysé.

Cette méthode s'applique également aux engrais chimiques composés de superphosphate, d'engrais azotés et des sels potassiques.

Préparation du citrate d'ammoniaque. — 400 grammes d'acide citrique cristallisé sont dissous dans une capsule, à froid, par une quantité suffisante d'ammoniaque à 22 degrés. On complète le volume de 1 litre avec de l'ammoniaque.

9° *Scories de déphosphoration.*

On emploie depuis quelque temps des scories qui proviennent des opérations effectuées dans l'industrie métallurgique pour enlever le phosphore à la fonte par le procédé de Thomas et Gilchrist. Ces scories contiennent des quantités très variables d'acide phosphorique, à un état dont le degré d'assimilabilité n'a pas encore été complètement déterminé ; mais il semble qu'à l'état pulvérulent, elles doivent pouvoir céder leur acide phosphorique aux racines des plantes (1). Malgré la température élevée à laquelle ces scories ont été soumises, les phosphates qui s'y trouvent sont relativement assez solubles, même en partie dans le citrate d'ammoniaque. Les substances qui accompagnent l'acide phosphorique dans cette scorie sont la chaux, le fer existant en grande partie à l'état de protoxyde, en petite quantité à l'état de peroxyde, avec des parcelles de fer métallique. Il y a, en outre, de la silice, un peu d'acide sulfurique, etc.

L'analyse de ce produit peut se faire exactement comme celle d'un phosphate de chaux naturel, à la condition toutefois de transformer tout le fer en sesquioxyde. On commence par dissoudre 1 gramme de matière finement pulvérisée dans l'acide chlorhydrique bouillant ; on évapore à sec pour séparer la silice ; on reprend de nouveau par l'acide chlorydrique et puis on ajoute à l'ébullition de l'acide azotique, soit environ 5 centimètres cubes ; on fait bouillir jusqu'à disparition des vapeurs rutilantes et l'on traite ensuite par l'ammoniaque, l'acide citrique et le chlorure de magnésium, comme dans un dosage ordinaire.

Lorsque les quantités d'acide phosphorique sont très faibles, on peut faire le dosage au moyen du molybdate d'ammoniaque ; dans ce but, on opère sur 5 décigrammes de matière, qu'on dissout par l'acide chlorydrique après séparation de la silice ; on reprend par l'acide azotique ; on évapore à sec à deux ou trois reprises, toujours avec de l'acide azotique, jusqu'à ce que le chlore soit totalement éliminé. Dans la liqueur azotique, on verse le nitromolybdate d'ammoniaque ; on recueille le précipité avec les précautions ordi-

(1) Ce rapport a été écrit en février 1890, au moment où les scories étaient encore peu employées ; nous avons indiqué plus haut (p. 736 et 766), combien elles sont aujourd'hui prisées des cultivateurs.

naires; on le transforme en phosphate ammoniaco-magnésien et on le pèse à l'état de pyrophosphate de magnésie.

L'attaque préalable par l'acide chlorhydrique est indispensable parce que l'acide azotique peut ne pas dissoudre intégralement les phosphates.

La pesée du pyrophosphate de magnésie, que nous avons adoptée, suffit à toutes les exigences du dosage de l'acide phosphorique.

CHAPITRE XIV

PRIX ET VALEUR DES ENGRAIS.

Le prix des engrais s'établit d'après leur composition, leur valeur d'après leur efficacité. Nous indiquerons dans ce dernier chapitre comment on peut déterminer l'un et l'autre.

§ 270. — Prix des engrais.

L'habitude s'est très sagement établie aujourd'hui d'acheter les engrais sur analyse, mais quand le cultivateur reçoit le bulletin du chimiste chargé de déterminer la composition de l'engrais, ou qu'il lit le prospectus du marchand, il est quelquefois embarrassé pour savoir si le prix auquel l'engrais est offert, est en rapport avec sa composition, et nous devons indiquer comment on peut très aisément voir si cet accord existe.

Il est évident d'abord que la question ne se pose que lorsqu'il s'agit de déterminer le prix d'un engrais complexe; quand on acquiert un engrais simple, nitrate de soude, sulfate d'ammoniaque, superphosphate et qu'il est livré avec une composition garantie, l'analyse du chimiste indique si cette composition est d'accord avec la garantie, il n'y a donc là aucune difficulté, mais il n'en est plus ainsi quand on offre un engrais très complexe.

Imaginons un engrais présentant la composition suivante :

Azote nitrique	2
— ammoniacal	3
— organique	4
Acide phosphorique assimilable	4
— — insoluble	2
Potasse	3

On offre les 100 kilos de cet engrais à 25 francs. Ce prix est-il exagéré, ou au contraire acceptable?

Pour le savoir, on ouvre un journal d'agriculture où se trouvent les mercuriales et les prix des principaux engrais.

On y voit :

Nitrate de soude, renfermant de 15 à 16 centièmes d'azote nitrique, 21,50 ou 22 francs les 100 kilos. — Dans cet engrais, le seul élément utile est l'azote nitrique, nous pouvons donc dire que le kilo d'azote nitrique y vaut de $\frac{21,5}{15}$ à $\frac{22}{16}$ ou de 1 fr. 43 à 1 fr. 37, en moyenne 1 fr. 40.

Le sulfate d'ammoniaque est vendu, à la fin de 1891, de 28 fr. 75 à 29 francs les 100 kilos pour une teneur de 20 cent.; d'où nous trouvons 1,43, ou 1,45 pour le kilo d'azote d'ammonical, prenons le chiffre de 1,45.

Le prix de l'azote organique est plus difficile à établir, il peut avoir diverses origines, et par suite des prix variables : le sang desséché, moulu, renfermant de 11 à 13 centièmes d'azote vaut de 19,00 à 21,50 les 100 kilos, d'où on tire pour le kilogr. d'azote organique $\frac{19}{11} = 1$ fr. 72 ou $\frac{21,5}{13} = 1,65$; on voit que le prix moyen serait de 1 fr. 70.

La viande desséchée renfermant de 9 à 11 centièmes d'azote se vend de 15,50 à 18 fr. les 100 kilos pour une teneur en azote de 9 à 11 centièmes, le prix du kilogramme d'azote organique y varie donc de $\frac{15,5}{9} = 1,72$ à $\frac{18}{12} = 1,63$; c'est-à-dire environ 1 fr. 70, comme le kilogramme d'azote du sang; mais cet azote peut provenir du cuir désagrégé; or celui-ci renfermant 8 centièmes d'azote est vendu 9,60; d'où pour le prix du kilogr. $\frac{9,60}{8} = 1,20$.

Le dosage de l'azote par la chaux sodée ou par le procédé Kjeddalh ne renseigne pas sur l'origine de l'azote organique et ce sont seulement les investigations au microscope qui permettent d'être fixé sur l'origine et par suite le prix de l'azote organique.

La détermination de la nature de l'azote organique est d'autant plus importante à établir exactement que le décret inséré plus haut impose au vendeur l'indication du nom de la matière organique qui entre dans la composition des engrais (p. 826); que, par conséquent, le marchand qui vendrait du cuir torréfié sous le nom de sang desséché serait convaincu de tromperie.

Nous avons vu plus haut (p. 615) que le sang est coagulé avec

du perchlorure de fer, la présence dans l'engrais de ce corps si facile à caractériser, à l'aide du ferrocyanure de potassium, est donc l'indice de la présence du sang, mais si son absence peut être considérée comme une indication sérieuse que la matière organique n'est pas du sang, on ne peut pas déduire avec sécurité de la présence du perchlorure de fer à l'existence du sang dans l'engrais, car rien n'empêche d'ajouter du perchlorure à du cuir.

Le prix de l'acide phosphorique soluble ou assimilable dans les superphosphates varie de 0 fr. 49 à 0 fr. 57 l'unité, on vend en effet les 100 kilos de superphosphates fossiles à 10 p. 100 d'acide soluble ou assimilable, de 4 fr. 90 à 5 fr. 75; quand la teneur est plus grande, que les superphosphates renferment de 16 à 18 centièmes d'acide assimilable, le prix oscille de 7,50 à 9 fr. les 100 kilos, on a donc $\frac{7,5}{16} = 0,46$ ou $\frac{9}{18} = 0$ fr. 50; ce prix s'élève dans les superphosphates d'os, leur valeur pour 16 à 18 centièmes d'acide phosphorique assimilable varie de 11,25 à 12,50, c'est-à-dire $\frac{11,25}{16} = 0,70$ ou $\frac{12,5}{18} = 0$ fr. 69.

Quant à l'acide phosphorique insoluble des phosphates fossiles, il est vendu à 0 fr. 20 l'unité, on voit en effet que les 100 kilos renfermant de 16 à 18 centièmes d'acide phosphorique valent 3 fr. 25.

Le chlorure de potassium à 90 centièmes vaut de 19,50 à 20 francs; on en calcule à l'état de potasse l'élément utile, on trouve que les 90 kilos du chlorure correspondent à 54 k. 1 de potasse, dont le prix est d'environ 0 fr. 35 par kilo.

Dans le sulfate de potasse à 90 p. 100 vendu de 21,50 à 24 francs, le kilogr. de potasse s'établit en cherchant d'abord ce que renferment de potasse réelle les 90 kilos de sulfate; on trouve 48 kilos, qui à 21,50 = 0 fr. 44 le kilo.

Ces bases vont nous servir à établir très aisément le prix de l'engrais complexe, dont nous avons donné plus haut la composition.

Nous trouvons en effet :

2 kilos	d'azote nitrique à 1fr,40	2fr,80
3 —	— ammoniacal à 1fr,45	4 ,35
4 —	— organique à 1fr.70	6 ,80
4 —	d'acide phosphorique assimilable à 0fr,50	2 ,00
2 —	— — insoluble à 0fr,20	0 ,40
3 —	de potasse à 0fr,40	1 ,20
		17fr,55

Il est visible que l'écart entre le prix offert et le prix réel est

exagéré, et que la peine qu'aurait prise le fabricant à faire le mélange de ces divers engrais serait trop largement payée par une différence de 7 fr. 50 par 100 kilos.

Le cultivateur peut, en employant la méthode précédente, calculer même le prix du fumier; en supposant que les seuls éléments actifs soient l'azote, l'acide phosphorique et la potasse, on trouverait pour le fumier moyen, renfermant par tonne :

Azote organique ou ammoniacal.....	$6 \times 1.60 = 9^{fr},60$
Acide phosphorique assimilable.....	$3 \times 0.50 = 1\ ,50$
Potasse.....	$5 \times 0.40 = 2\ ,00$
	$13^{fr},10$

Prix certainement inférieur à celui que représente cet engrais, puisqu'on n'introduit pas dans le calcul les matières ulmiques qui exercent cependant une influence des plus marquées.

§ 271. — La valeur des engrais n'est pas représentée par leur prix d'achat ou leur prix de revient.

La *valeur* d'un objet est déterminée par le service qu'on en peut tirer; l'engrais est une matière ajoutée au sol, dans l'espoir que son addition augmentera la récolte sur laquelle il est employé, et cette valeur basée sur son efficacité est manifestement indépendante du prix d'achat ou du prix de revient, et c'est précisément parce que la valeur de l'engrais est indépendante de ce prix d'achat qu'on est conduit à expérimenter dans des conditions variées, pour connaître dans chaque cas particulier la valeur que présente l'engrais employé.

Si le cultivateur réclame des champs d'expérience, si l'Etat crée des champs de démonstration, si nombre d'agronomes ont accumulé les essais de culture, c'est précisément parce qu'ils sont convaincus que la valeur de l'engrais n'est pas représentée par son prix d'achat; si ces deux valeurs étaient identiques, les expériences seraient oiseuses; on saurait que le nitrate de soude vaut de 20 à 23 francs les 100 kilos; le sulfate d'ammoniaque 28 à 32 francs et l'acide phosphorique soluble 0 fr. 50 le kilo; il n'y aurait pas lieu de faire des essais.

Mais le cultivateur apprend qu'un de ses voisins a employé le sulfate d'ammoniaque avec avantage, que tel autre n'en a tiré aucun profit, il devient visible pour lui que la valeur de cet engrais

n'est pas toujours la même, bien que son prix d'achat soit uniforme, il est convaincu que pour connaître la valeur d'un engrais il faut déterminer son efficacité, et puisque cette efficacité varie d'un sol à l'autre, d'une culture à une autre, il désire savoir dans quelles conditions, sur quelles plantes, on trouvera à cet engrais une valeur supérieure à son prix d'achat.

On n'établit des champs de démonstration que pour lever les doutes qui assiègent le cultivateur, on sait que ce sera seulement quand il aura constaté *de visu* l'effet produit, qu'il se sera rendu compte de l'*efficacité* de l'engrais, qu'il prendra la résolution de l'employer ou de s'abstenir. C'est donc l'efficacité de l'engrais, et non son prix d'achat qui fixe sa valeur.

Il découle manifestement de ce premier point que la valeur de l'engrais est essentiellement variable, elle dépend de la nature du sol, de celle de la plante, de la succession des récoltes, il est donc impossible de la calculer *a priori*, elle ne peut être fixée que par l'*expérience*, et il est nécessaire que les conditions dans lesquelles l'expérience sera exécutée soient si nettement définies que le cultivateur puisse en conclure que si ces conditions s'appliquent au sol qu'il cultive, il a, en la reproduisant, grandes chances de réussir.

Les nombreuses expériences exécutées à Grignon ont montré que les engrais phosphatés n'augmentent pas les récoltes; il est clair que, pour le sol de Grignon, ces engrais n'ont pas de valeur ; les cultivateurs des environs ont fait leur profit de cet enseignement et ne font aucune dépense de phosphates. Ces engrais ont, au contraire, une valeur considérable pour les sols de Bretagne, où ils permettent d'obtenir des récoltes, de terres qui sans eux seraient stériles.

La valeur de l'engrais dérivant de son efficacité, il importe de préciser le mode d'estimation de cette valeur, basée non plus sur le prix d'achat ou sur le prix de revient, mais sur l'efficacité déterminée par l'expérience.

§ 272. — Méthode employée pour calculer la valeur des engrais.

Je suppose que le cultivateur qui veut se renseigner sur la valeur des engrais ait disposé un champ d'expériences; il aura soin de choisir une terre bien homogène, de donner à toutes les parcelles qui vont entrer en comparaison les mêmes façons et d'y semer

les mêmes graines; pour que les différences qu'il espère obtenir puissent être judicieusement attribuées aux engrais employés, il est clair que les engrais seuls doivent différer.

Une des parcelles étant cultivée sans engrais, une autre reçoit un poids P de l'engrais dont il s'agit de trouver la valeur x. Si nous supposons que la parcelle qui a reçu l'engrais ait fourni une récolte R dont le prix de vente soit de V, le produit brut de cette parcelle sera RV; si la parcelle sans engrais a fourni une récolte R' de la même plante ayant encore une valeur V, la différence des produits bruts sera RV — R'V ou simplement (R — R')V. Pour obtenir cette différence, on a employé le poids P d'engrais. L'expression

$$\frac{(R-R')V}{P}$$

représentera la valeur x de l'unité de poids de l'engrais.

Prenons un exemple fictif pour bien montrer comment s'applique ce calcul : on a employé 300 kilos d'azotate de soude sur un hectare de betteraves et on a récolté 30,000 kilos de racines à 25 francs la tonne; d'autre part, sans engrais, on a obtenu 25,000 kilos de racines valant encore 25 francs. La différence 30 000-25 000 = 5 000 kilos de betteraves vendues 25 francs la tonne, on a donc eu 125 francs de supplément de récolte; en divisant 125 par 3, on aura la valeur des 100 kilos d'azotate de soude qui sera de 41 fr. 60.

Il est clair que si le prix de vente de la récolte des deux parcelles n'est pas la même, l'expression deviendrait : $\frac{RV-R'V'}{P}=x$.

Il est manifeste également que si les récoltes comportaient deux produits, par exemple qu'on eût cultivé du blé et qu'il convînt de considérer la paille comme marchandise de vente, on aurait en appelant R le poids du grain obtenu sur la parcelle qui a reçu l'engrais, R' le poids du grain de la parcelle sans engrais, que A fût le poids de la paille de la parcelle fumée, A' celui de la parcelle qui n'a rien reçu, on aurait, si V est le prix de vente du grain, V' celui de la paille, l'expression : $\frac{(R-R')V+(A-A')V'}{P}=x$.

Discutons la formule plus simple $\frac{R-R')V}{P}$ pour voir à quelles conséquences elle conduit, relativement à la valeur de x.

La formule dit très nettement que si l'engrais n'augmente pas

la récolte, il est sans valeur : en effet, $R = R'$, le numérateur de la fraction est égal à zéro; x est lui-même égal à zéro.

Habituellement la différence $R - R'$ n'est pas nulle et nous devons désirer que la valeur de x soit la plus élevée possible : en effet, x est la valeur calculée de l'unité de poids d'engrais acheté ou produit; plus sa valeur dépassera son prix d'acquisition ou de revient, et meilleure sera notre culture.

Pour que x ait une valeur maxima, il faut que le numérateur soit le plus grand possible et le dénominateur le plus faible.

Il est évident, en effet, que l'engrais sera d'autant plus efficace qu'il en faudra employer une dose plus faible pour obtenir la différence constatée $R - R'$ entre la parcelle qui l'a reçu et celle qui en a été privée; il est évident également que l'engrais aura une valeur d'autant plus grande que, sous son influence, la différence $R - R'$ sera plus élevée.

Il est bien à remarquer que la valeur des engrais croît avec le prix de vente des denrées agricoles; en effet, le chiffre V est au numérateur et multiplie la différence $R - R'$. Cette conséquence est évidente; en employant un poids P d'engrais, j'ai obtenu les années passées, pour la valeur $R - R' = 10$ quintaux métriques de grain de plus sur l'hectare qui a reçu le poids P d'engrais, que sur l'hectare voisin qui en a été privé, le quintal de blé valait à cette époque 30 francs, la valeur de x à cette époque était $\frac{300}{P}$; si, il y a cinq ou six ans, j'avais obtenu cette même différence de 10 quintaux en employant le même poids d'engrais, je trouvais, à cause de la faiblesse du prix du blé, que les 10 quintaux n'étaient vendus que 200 francs; les valeurs de x sont donc très différentes aujourd'hui de ce qu'elles étaient naguères, actuellement elles sont représentées par $\frac{300}{P}$; il y a cinq ans, elle était de $\frac{200}{P}$: il y a cinq ans l'engrais valait moins qu'il ne vaut aujourd'hui.

Cette conséquence est tellement fatale, il est tellement nécessaire que le prix d'achat des engrais ne s'écarte pas trop de leur valeur, qu'il y a quelques années la baisse des produits agricoles a entraîné celle des engrais; les prix de l'azotate de soude, du sulfate d'ammoniaque ou de l'acide phosphorique n'étaient plus, il y a cinq ans, ce qu'ils étaient dix ans auparavant, avant la baisse du blé.

Nous avons dit que dans le département de l'Hérault où l'on emploie, pour la culture de la vigne, le chiffon de laine, celui-ci se vend

d'autant plus cher que le prix du vin est plus élevé ; nouvelle preuve que le prix des engrais suit celui des matières qu'il sert à obtenir.

Quand on cultive des plantes de haut prix, des fleurs, des primeurs, on peut impunément forcer la dépense d'engrais, la plus petite différence obtenue entre R et R′ étant multipliée par V, qui a une grande valeur, donne à x un prix qui suffit pour surpasser la dépense d'acquisition.

Le mode de calcul que nous venons d'indiquer conduit non seulement à la détermination de la valeur qu'a présenté l'engrais l'année même où il a été employé, elle permet en outre de savoir comment l'engrais se partage entre diverses cultures successives.

Fraction de la valeur de l'engrais qui incombe aux récoltes successives. — La valeur de x déterminée précédemment repose seulement sur la comparaison entre les deux premières récoltes R et R′, mais il est rare qu'un engrais épuise son action en une année ; très habituellement, au contraire, son influence est encore sensible pendant les années suivantes ; pour connaître cette seconde valeur de l'engrais qu'il faudra ajouter à la première, il conviendra donc de continuer la culture sur les deux parcelles précédentes pendant une seconde saison, sans nouvel apport d'engrais. Supposons que, pendant cette seconde saison, on ait une récolte R″ sur la parcelle qui a reçu l'engrais l'année précédente et une récolte R‴, sur la parcelle cultivée sans engrais ; il peut arriver que $R'' = R'''$ auquel cas l'action de l'engrais est épuisée et la valeur se réduit au chiffre x trouvé la première année, mais plus habituellement il n'en est pas ainsi et on a $R'' > R'''$.

En effectuant comme dans le cas précédent le calcul

$$\frac{(R'' - R''')V'}{P}$$

on aura une seconde valeur x' qui variera naturellement avec le prix de vente V′ afférent à cette seconde récolte.

En comparant x à x' on saura comment l'engrais s'est partagé entre les deux récoltes et par suite quelle part incombe à chacune des cultures.

En continuant pendant une troisième année la culture sur les mêmes parcelles toujours sans nouvel apport d'engrais, on aura une troisième valeur x'' à ajouter aux deux premières, et ainsi de suite jusqu'au moment où l'assolement terminé on donnera une nouvelle fumure.

La valeur totale de l'engrais X sera donc formée de valeurs partielles $x+x'+x''+x'''$; et, ainsi qu'il a été dit, ce mode de calcul nous fournit non seulement une appréciation exacte de X pour les conditions dans lesquelles on a opéré, mais encore elle nous donne la fraction de X qui incombe à chacune des cultures, non plus arbitrairement, mais d'après une donnée expérimentale, et on conçoit que si on avait un nombre suffisant d'expériences exécutées dans des conditions identiques, on pût en tirer pour chacune de ces valeurs une estimation approchée, qui serait d'une grande utilité dans les calculs auxquels se livrent les cultivateurs.

La valeur de X étant déterminée, il nous reste à la comparer au prix d'achat ou au prix de revient présumé des engrais employés.

Quand on a fait usage d'un engrais commercial, la comparaison est bien simple, et suivant que X sera plus grand, égal ou plus petit que B, prix d'achat de l'engrais, il en faudra conclure que l'emploi a été avantageux, indifférent ou nuisible.

Il faudra bien toutefois se garder d'aller au delà de l'expérience et vouloir en conclure, dans le cas où X est plus petit que B, que l'engrais ne doit pas être employé dans le sol considéré; l'expérience veut dire seulement que dans les conditions où l'on s'est placé, l'emploi de l'engrais a été onéreux, mais dans d'autres conditions, employé en d'autres quantités, associé à d'autres matières fertilisantes, il eût pu devenir avantageux.

Si l'engrais est fabriqué dans la ferme, la comparaison devient moins rigoureuse, puisqu'on ne sait que d'une façon approximative le prix de revient de cet engrais ; toutefois, on aura un aperçu qui suffira pour guider le cultivateur et lui indiquer dans quel sens il doit se diriger. Il aura même dans la valeur que ses cultures donneront à son fumier, après telle ou telle rotation, composée de telles ou telles espèces ou variétés, une justification de sa conduite, ou au contraire un avertissement salutaire que la route dans laquelle il est engagé est dangereuse.

§ 273. — Détermination de la valeur d'un des éléments des engrais.

Le mode de calcul que j'ai proposé permet de déterminer la valeur de l'unité du poids d'engrais, mais il se prête également à la détermination de la valeur particulière d'un des éléments des engrais, et en modifiant très légèrement ce mode de calcul, il m'a

paru qu'on pourrait aisément réussir à démontrer que l'azote sous ses différentes formes est bien loin de présenter la même valeur.

Dans la formule $\frac{(R-R')V}{P}=x$, P représente le poids de l'engrais employé; mais dans le cas particulier que nous avons à traiter. nous pouvons faire la convention que P représentera le poids d'un des éléments des engrais, de l'azote, par exemple, on en déduira aisément la valeur de x, c'est-à-dire du *kilogramme d'azote dans l'engrais employé.*

Prenons un exemple fictif pour bien faire saisir la méthode; j'ai obtenu avec 400 kilogrammes d'azotate de soude 40 tonnes de betteraves à 20 francs et sans engrais 25 tonnes.

J'écris que

$$\frac{(40-25)20}{4}=x$$

la valeur des 100 kilos d'azotate de soude, je trouve 75 francs pour les 100 kilos d'azotate de soude; mais au lieu de diviser par 4, poids de l'azotate de soude employé, je puis mettre au dénominateur de ma fraction le poids d'azote contenu dans les 400 kilos d'azotate de soude employés; or, l'azotate de soude du commerce renferme habituellement 16 kilos d'azote par 100 kilos ou 64 kilos pour les 400 kilos d'engrais employé; j'aurais donc pour trouver la valeur du kilogramme d'azote de l'azotate de soude, à résoudre l'équation :

$$\frac{(40-25)\times 20}{64}=x$$

je trouve que $x = 4$ fr. 76.

Il est clair que si je cultive un sol comme celui de Grignon où le seul élément des engrais qui exerce une action sensible soit l'azote, je pourrai trouver la valeur du kilogramme d'azote dans le fumier et le faire entrer en comparaison avec le kilogramme d'azote du nitrate de soude, avec celui du sulfate d'ammoniaque, avec celui des matières organiques et en tirer des conclusions précieuses.

Appliquons les calculs précédents à un exemple réel : en 1879. on distribua à une culture de maïs fourrage 20,000 kilos de fumier(1), on obtint 68,000 kilos de fourrage et seulement 22,500 sans

(1) *Ann. agron.*, t. VIII, p. 78.

engrais ; la différence est de 45,500 kilos ; si on estime à 15 francs la tonne de maïs on aura 682 fr. 50, pour la différence de valeur des récoltes, or, dans 20,000 kilos de fumier il y a 100 kilos d'azote, on aura donc pour la valeur du kilogramme d'azote $\frac{682^{fr},50}{100}$ ou 6 fr. 82.

Cette même année 400 kilos d'azotate de soude ont donné 32,500 kilos de maïs ; c'est-à-dire 10,000 kilos de plus que la parcelle sans engrais, on a eu 150 francs de différence qui, divisés par 64, donnent seulement 2 fr. 34. Il est clair que le prix de l'azote est bien différent dans un cas et dans l'autre.

L'exemple précédent démontre que la valeur du kilogramme d'azote varie avec la nature de la combinaison dans laquelle il est engagé.

La formule se prête même à la discussion d'un cas encore plus complexe :

En 1885, sur nos cultures de blé de Grignon, j'ai mis en comparaison d'énormes fumures qui avaient moins pour but de pousser les récoltes jusqu'au maximum, que d'éprouver la résistance à la verse que présentaient les diverses variétés.

J'ai distribué par exemple aux blés : Rouge d'Écosse, Scholey à épis carrés, Browick et Bleu de Noé, la fumure excessive de 50,000 kilos de fumier, d'autres parcelles des mêmes variétés ont reçu 30,000 kilos de fumier et 200 kilos d'azotate de soude ; il est clair que si j'introduis au dénominateur de la fraction $\frac{(R - R')\,V}{P}$ dans un cas 50,000 poids du fumier donné, et, dans l'autre cas, 30,200 poids du fumier et de l'azotate de soude, je n'aurai aucune valeur réelle, la comparaison ne portant pas sur des quantités comparables.

Il m'a paru que je pourrais tourner la difficulté en introduisant au dénominateur non plus le *poids de l'engrais lui-même,* mais le *poids de l'élément actif employé :* dans le cas particulier où nous sommes, on écrira dans une des formules, le poids d'azote contenu dans 50,000 kilos de fumier, dans l'autre le poids d'azote que renferment 30,000 kilos de fumier et 200 kilos de nitrate de soude ; les valeurs obtenues dans l'un et l'autre cas permettront de comparer la valeur du kilogramme d'azote-fumier à celle du kilogramme azote-fumier et azote-nitrique mélangés.

En 1885, j'ai obtenu dans la culture du blé rouge d'Écosse un

produit brut de 1,130 francs sur la parcelle qui a reçu 50,000 kilos de fumier et 602 francs sur celle qui a été cultivée sans engrais, j'ai donc une différence de 528 francs, et comme j'ai employé 250 kilos d'azote pour obtenir cette différence, je puis trouver la valeur du kilogramme d'azote du fumier en divisant $\frac{528}{250}$ = 2 fr. 11 c.

Quand j'ai donné comme fumure 30,000 kilos de fumier et 200 kilos d'azotate de soude, j'ai obtenu 1,140 francs de produit brut, j'ai donc 1,140 — 602 = 538 francs, d'excédent de produit, qui, cette fois, ont été obtenus par l'emploi de 150 kilos d'azote du fumier et de 32 provenant des 200 kilos d'azotate de soude ou 182. Je trouve pour la valeur du kilogramme d'azote : fumier-nitrique $\frac{538}{182}$ = 2 fr. 95. Ainsi le mélange du fumier et du nitrate fait ressortir le kilogramme d'azote à près de 3 francs, par conséquent à un chiffre beaucoup plus élevé que celui du kilogramme d'azote du fumier seul.

En appliquant le même mode de calcul au blé Browick nous trouvons pour la parcelle qui a reçu 50,000 kilos de fumier un produit brut de 956 francs, un produit de 620 francs pour la parcelle sans engrais, nous avons donc $\frac{956 - 620}{250}$ = 1 fr. 34, c'est-à-dire un chiffre plus faible que pour le blé rouge d'Écosse. Quant à la parcelle qui a reçu le fumier mélangé de nitrate de soude, nous avons $\frac{942 - 620}{182}$ = 1 fr. 75, le chiffre est encore plus fort que dans le cas du fumier seul, mais le prix du kilogramme d'azote est médiocre précisément parce que les quantités employées ont été excessives et que ces fortes fumures ne peuvent être distribuées avantageusement qu'à des variétés particulièrement prolifiques; les variétés médiocres ne paient plus ces doses formidables d'engrais.

On verra mieux cette influence des fumures considérables par un autre exemple tiré des cultures de blé de Bordeaux de 1884; on a fait succéder du blé à du maïs, on a donné (1) à la parcelle 50, 5,000 kilos de fumier et 200 kilos d'azotate de soude, on a obtenu 5,950 kilos de paille et 34 quintaux métriques de grain, tandis que la parcelle sans engrais donnait 2,675 kilos de paille et 21 quintaux

(1) *Ann. agron.*, t. XI, p. 154.

métriques de grain; on a eu comme produit brut dans un cas 920 francs et 527 dans l'autre, la différence est de 393 francs qu'il faut diviser par $25+32=57$ poids de l'azote contenu dans les 5,000 kilos de fumier et les 200 kilos d'azotate de soude; on a ainsi pour la valeur du kilogramme d'azote formé du mélange du fumier et de l'azotate de soude $\frac{393}{57}=6$ fr. 59, chiffre bien supérieur à ceux qu'on a obtenus précédemment.

Quand, au contraire, on a employé pour essayer la résistance à la verse du blé de Bordeaux 50,000 kilos de fumier et 200 kilos d'azotate de soude, on a eu un produit brut de 926 francs dont il faut retrancher 527, produit brut de la parcelle sans engrais et qu'il faut diviser enfin par 282, poids d'azote introduit, on a seulement dans ce cas $\frac{399}{282}=1$ fr. 41.

Il découle visiblement des renseignements précédents que le kilogramme d'azote présenté sous forme de mélange d'azotate de soude et de fumier n'acquiert une valeur élevée que lorsque l'engrais est distribué avec une certaine parcimonie.

Nous trouverons pour discuter la valeur de ce mélange quelques bons exemples dans les cultures d'avoine poursuivies à Grignon de 1875 à 1879.

Quand on a employé 10,000 kilos de fumier enterré seul, on a obtenu une récolte moyenne de 677 francs (calculant la paille à 35 francs la tonne et le grain à 19 francs les 100 kilos); la parcelle sans engrais a donné une récolte de 512 francs, on trouve ainsi pour la valeur du kilogramme d'azote du fumier donné à la dose de 10,000 : $\frac{77-512}{50}=3$ fr. 30.

Quand on a employé 5,000 kilos de fumier et 200 kilos d'azotate de soude, on a obtenu en moyenne 749 francs; le témoin donnant 512 francs de récolte, on a donc pour la valeur du kilogramme d'azote $\frac{749-512}{57}=4$ fr. 17. Valeur supérieure à celle qui ressort de l'emploi du fumier seul.

Si enfin nous comparons à cette valeur du kilogramme d'azote fumier nitrate, à celui du nitrate seul, nous arrivons encore à une conclusion intéressante, la récolte de la parcelle considérée est seulement de 571 francs. Si on en retranche 512 francs fournis par la parcelle sans engrais, on obtient 59 francs qui, divisés

par 16 poids d'azote contenu dans les 100 kilos employés donne seulement 3 fr. 68.

Ainsi nous voyons que, sur l'avoine, des fumures modérées donnent les valeurs suivantes pour le kilogramme d'azote :

Azote du fumier.....	3fr,26
— du nitrate.....	3 ,68
— du mélange, fumier nitrate.....	4 ,17

Dans tous les cas examinés nous arrivons donc à cette conclusion : l'azote n'a pas la même valeur sous toutes ses formes, c'est en employant le mélange fumier azotate de soude que nous obtenons le chiffre le plus élevé.

La méthode précédente permet de mettre ces différences en relief et de savoir sous quelle forme l'azote de l'engrais employé sur un sol déterminé et à une culture particulière présente le plus d'efficacité et acquiert par suite la valeur la plus haute.

Ces différences dans la valeur des engrais calculée d'après l'efficacité qu'ils présentent montrent quelle part revient à la sagacité, à l'habileté du cultivateur dans l'emploi judicieux des matières fertilisantes : j'ai souvent entendu dire d'un bon cultivateur : c'est un homme qui connaît bien sa terre ; cette appréciation est juste, mais il faut comprendre, qu'un homme qui connaît bien sa terre sait non-seulement comment il faut la prendre, à quel état elle doit être labourée, hersée ou roulée, mais aussi quels sont les engrais qu'il faut y distribuer et à quelles doses ils doivent être employés ; un bon cultivateur est non-seulement celui qui connaît bien sa terre, mais qui sait en outre y employer judicieusement les engrais.

FIN

APPENDICE

FIXATION DE L'AZOTE LIBRE PAR LES VÉGÉTAUX INFÉRIEURS. — TRAVAUX DE MM. SCHLŒSING FILS ET LAURENT.

Au moment où ont été imprimées les diverses parties de ce volume dans lesquelles il est question de la fixation de l'azote libre par les plantes ou par les sols, les remarquables expériences de MM. Schlœsing fils et Laurent, n'étaient pas encore publiées (1); il nous a paru qu'elles étaient importantes à faire connaître et nous leur consacrons ces dernières pages.

MM. Schlœsing fils et Laurent ont cherché si les légumineuses étaient seules capables de fixer l'azote atmosphérique, ou bien si au contraire cette propriété appartenait également à d'autres familles végétales ; pour élucider ce sujet, ils ont employé simultanément les deux méthodes directes et indirectes qui se contrôlent l'une par l'autre : déterminant par de rigoureuses mesures les changements survenus dans l'atmosphère confinée où les plantes ont vécu, établissant d'autre part par des dosages d'azote, au commencement et à la fin des expériences, si le système plante et sol avait gagné l'azote gazeux disparu de l'atmosphère confinée.

Quatre plantes ont été mises en expériences : topinambour, avoine, pois et tabac ; plusieurs vases renfermant le même sol que celui qui portait les cultures précédentes ont été en outre introduits dans les appareils, mais sans être ensemencés autrement que de délayure de terre.

La première série d'expériences a montré que de l'azote gazeux avait toujours disparu, mais en faible proportion, sauf dans le cas des pois, qui ont fixé une quantité notable d'azote ; « la surface des sols s'était peu à peu et à divers degrés recouverte de plantes vertes parmi lesquelles on a reconnu des mousses (*Bryum*, *Leptobryum*

(1) Le mémoire est publié *in extenso* dans le cahier de février 1892 des *Annales de l'Institut Pasteur*.

et des algues (*Conferva*, *Oscillaria*, *Nitzschia*). A quelles espèces était due la fixation de l'azote, aux phanérogrammes, ou au contraire aux végétaux inférieurs? Pour le savoir, MM. Schlœsing fils et Laurent suppriment l'apparition des cryptogames en recouvrant la surface des sols, après l'enfouissement des graines et l'arrosage avec la délayure de terre, d'une couche de quelques millimètres de sable quartzeux; dès lors aucune trace de matière verte n'est apparue, et, sauf pour les légumineuses, on n'a plus observé la fixation d'azote.

Ainsi, tandis que dans ces expériences les sols nus, l'avoine, la moutarde, le cresson, la spergule n'ont pas fixé d'azote, on constate que certaines plantes vertes inférieures empruntent de l'azote gazeux à l'atmosphère.

Il y là un point fort important, qui montre que l'ancienne expérience de Boussingault, pendant laquelle il n'avait observé aucune fixation d'azote gazeux sur le développement du *Penicillum glaucum* sur le sérum du lait, n'avait pas la portée générale que, très à tort, on lui avait attribuée.

Les expériences de MM. Schlœsing fils et Laurent expliquent les fixations d'azote considérables des sols maintenus longtemps en prairies, constatées par MM. Lawes et Gilbert dans une prairie de Rothamsted, par moi-même à Grignon (page 492).

Les faits observés par la pratique agricole sont donc maintenant d'accord avec ceux que les expériences de laboratoire les plus délicates ont permis de découvrir. Le sol d'une prairie permanente est habituellement envahi de mousses, de cryptogames variés, parmi lesquels se rencontrent sans doute les espèces capables de fixer l'azote atmosphérique et de l'employer à la formation de leurs albuminoïnes. Quand ces plantes meurent, elles enrichissent le sol de leurs dépouilles.

Aux êtres inférieurs, bactéries ou végétaux cryptogamiques, appartient donc cette curieuse propriété de triompher de l'inertie de l'azote gazeux; elle ne semble appartenir qu'à eux, car jusqu'à présent, au moins, on ne l'a sûrement constatée chez aucun animal ni aucune phanérogame.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE
DU DÉVELOPPEMENT DES VÉGÉTAUX.

CHAPITRE PREMIER.
DE LA GERMINATION.

CHOIX ET ÉVOLUTIONS DES GRAINES 1

§ 1er. — *Du choix de la graine* 1

Variété 1
Qualité germinative de la graine 2
Age de la graine 4
Pureté de la graine. — Détermination des espèces 5

§ 2. — *Préparation des graines* 6

Chaulage et sulfatage 6
Empoisonnement 7
Pralinage 7

PHÉNOMÈNES CHIMIQUES DE LA GERMINATION 7

§ 3. — *Des conditions de la germination* 8

Humidité 8
Oxygène 9
Influence des autres gaz 10
Influence de la température 11
Influence de la lumière et de l'électricité sur la germination 12

§ 4. — *Des modifications que subit l'atmosphère maintenue au contact des graines germées. — Analyse des gaz* 12

Disposition des expériences 12
Trompe à mercure 13
Analyse par les réactifs absorbants et l'eudiomètre à main 15
Dosage de l'acide carbonique 15
Dosage de l'oxygène 16

Apparition de l'hydrogène et du formène..... 17
Recherches des gaz combustibles..... 17
Emploi de l'eudiomètre de M. Schlœsing..... 17
Absorption complète d'oxygène par les graines en germination..... 21

§ 5. — *Rapport entre l'acide carbonique émis et l'oxygène absorbé*..... 21

Expériences de MM. A. Mayer et A. de Wolkoff..... 21
Résumé..... 23

MÉTHODES ANALYTIQUES..... 24

§ 6. — *Dosage du carbone et de l'hydrogène*..... 24
§ 7. — *Dosage de l'azote*..... 26

Méthode de la chaux sodée..... 26
Procédé Kjeldahl..... 29
Dosage de l'azote gazeux..... 31
Procédé de MM. A. Gauthier et Drouin..... 33

§ 8. — *Analyse immédiate de la graine*..... 33

Préparation de l'échantillon..... 33
Dosage des cendres..... 33
Dosage des matières grasses..... 33
Dosage des sucres..... 34
Dosage des sucres réducteurs..... 35
Dosage des sucres non réducteurs..... 37
Dosage des gommes et tannins..... 37
Dosage de l'amidon..... 38
Dosage de la cellulose..... 39
Dosage des albuminoïdes et des amides..... 39
Dosage de l'asparagine..... 40

§ 9. — *Des modifications qui surviennent dans la graine pendant la germination*..... 40

Gonflement..... 40
Perte de poids des graines pendant la germination..... 41
Composition élémentaire de graines et de plants développés dans l'obscurité..... 42
Modifications qui surviennent pendant la germination dans la composition immédiate de la graine..... 43
Graines amylacées..... 44
Composition immédiate de graines et de plants de maïs développés dans l'obscurité..... 44
Transformation des matières grasses..... 46
Expériences du docteur Peters..... 47
Transformation des matières azotées..... 49
Expériences de M. Schulze..... 50

§ 10. — *Influence des matières minérales sur le développement de la jeune plante*..... 52

Résumé des phénomènes de germination..... 56

§ 11. — *Évolution des tubercules et des bulbes*..... 57

Germination des pommes de terre..... 57
Modifications survenues dans les vieux tubercules de pommes de terre pendant quatorze semaines..... 58
Germination des topinambours..... 59

Germination des bulbes 59
§ 12. — *Évolution des bourgeons* 60

CHAPITRE II.

ASSIMILATION DU CARBONE.

LA CHLOROPHYLLE 62
§ 13. — *Apparition de la chlorophylle* 62
§ 14. — *Composition de la chlorophylle* 64
Composition de la chlorophyllane 65
§ 15. — *Spectre de la chlorophylle* 66
§ 16. — *Altérations de la chlorophylle* 67
§ 17. — *Disposition des grains de chlorophylle dans les cellules* 69
DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR LES PLANTES VERTES 71
§ 18. — *Historique et démonstration expérimentale* 71
Démonstration expérimentale 74
§ 19. — *Absorption de l'acide carbonique par les feuilles* 75
§ 20. — *Rapport* $\frac{O}{CO^2}$ *de l'oxygène dégagé, par les feuilles éclairées, à l'acide carbonique disparu* 77
Expériences de Boussingault 78
Expériences exécutées au Muséum 79
Discussion sur l'origine de l'oxygène dégagé 80
CONDITIONS NÉCESSAIRES A LA DÉCOMPOSITION DE L'ACIDE CARBONIQUE PAR LES FEUILLES 82
§ 21. — *Influence de l'état de la feuille* 82
Asphyxie 82
Empoisonnement 82
Dessiccation 83
§ 22. — *Action différente des deux côtés de la feuille* 85
§ 23. — *Influence de la composition de l'atmosphère* 87
§ 24. — *De l'action qu'exercent les radiations lumineuses et calorifiques sur la décomposition de l'acide carbonique par les feuilles* 88
Expériences de Garreau 89
Expériences de MM. Dehérain et Maquenne 89
Expériences de M. Kreusler 91
§ 25. — INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS LUMINEUSES 93
Expériences de M. Timiriazeff 94
Expériences de M. Reinke 96
Expériences de M. Engelmann 96
Résumé des travaux relatifs à l'influence de diverses radiations sur l'assimilation du carbone 99
§ 26. — *De l'action qu'exercent sur les végétaux les radiations de la partie droite du spectre* 100
§ 27. — *Assimilation du carbone à l'état de matière organique* 100
§ 28. — *Résumé.* — La décomposition de l'acide carbonique par les feuilles est l'origine de la matière organique à la surface de la terre 101

CHAPITRE III.

ASSIMILATION DE L'AZOTE.

§ 29. — *Assimilation de l'azote à l'état de nitrates*..... 103
Présence des nitrates dans les plantes..... 107
§ 30. — *Assimilation de l'azote à l'état ammoniacal*..... 108
§ 31. — *Assimilation des matières organiques*..... 111
§ 32. — *Intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation*..... 118
Observations qui démontrent l'intervention de l'azote atmosphérique dans la végétation..... 119
Expériences de Boussingault..... 120
I. Air confiné..... 120
II. Expériences dans une atmosphère renouvelée..... 121
III. Expériences à l'air libre..... 121
Expériences de M. G. Ville..... 121
Influence de l'ammoniaque atmosphérique..... 122
§ 33. — *Fixation de l'ammoniaque et de l'azote dans le sol*..... 125
§ 34. — *Fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses*..... 126
Expériences de MM. Hellriegel et Wilfarth..... 127
Expérience de M. Bréal..... 128

CHAPITRE IV.

LA COMPOSITION MINÉRALE DES VÉGÉTAUX.

§ 35. — *Méthode d'incinération*..... 131
Préparation des cendres sulfuriques..... 131
§ 36. — *Quantités de cendres laissées par les divers organes des végétaux*.. 134
Cendres dans les feuilles..... 134
Cendres dans le bois..... 135
Cendres dans les racines..... 136
Cendres dans les tiges..... 136
§ 37. — *Analyse des cendres*..... 137
Dosage de l'acide carbonique..... 138
Dosage du chlore..... 138
Dosage de la silice et du charbon..... 139
Dosage de l'oxyde de fer, de la chaux et de la magnésie..... 141
Dosage de l'acide sulfurique..... 142
Dosage de l'acide phosphorique..... 142
Emploi du nitrate d'urane..... 142
Dosage de la potasse et de la soude..... 144
§ 38. — *Composition des cendres des végétaux*..... 146
L'acide carbonique..... 146
La silice..... 146
L'acide phosphorique..... 146
L'acide sulfurique..... 146
L'iode..... 148
Le brome..... 148
La potasse..... 148
La soude..... 148

§ 39. — *Cendres dans les racines et les tubercules*..... 153
§ 40. — *Composition des cendres des feuilles des arbres*..... 155
§ 41. — *Composition des cendres de quelques tiges herbacées*..... 157
§ 42. — *Composition des cendres des grains*..... 159
§ 43. — *Cendres de plantes entières*..... 161

CHAPITRE V.

NUTRITION MINÉRALE DES PLANTES.

§ 44. — *Méthodes de recherche*..... 162
§ 45. — *Influence des divers éléments minéraux*..... 164
Acide phosphorique..... 164
Potasse..... 165
Chaux..... 168
Magnésie..... 169
Équivalence entre les bases..... 169
Chlorures..... 169
Silice..... 170

CHAPITRE VI.

ASSIMILATION DES SUBSTANCES MINÉRALES PAR LES PLANTES.

§ 46. — *De l'état des substances minérales dans les végétaux*..... 173
Potasse..... 173
Chaux..... 174
Silice..... 174
Phosphates..... 177
Iodures..... 180
Sulfates et chlorures..... 181
§ 47. — *Examen des anciennes hypothèses proposées pour expliquer la composition des cendres*..... 183
Examen des organes d'absorption..... 183
Les racines absorbent tous les éléments solubles qui sont mis en contact avec elles..... 184
Excrétion des racines..... 184
§ 48. — *Des phénomènes de diffusion*..... 187
§ 49. — *Explication de l'accumulation des principes formant dans les végétaux des combinaisons insolubles*..... 189
Assimilation de la silice combinée..... 189
Expériences de Th. de Saussure..... 191
Diffusion des matières solubles au travers des colloïdes..... 192
§ 50. — *Assimilation dans les végétaux des phosphates et des bases*..... 198
§ 51. — *Accumulation dans les feuilles de substances solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure*..... 195
§ 53. — *Sur l'accumulation dans les végétaux de quelques sels solubles*.... 198

CHAPITRE VII.

RESPIRATION.

§ 54. — *Démonstration expérimentale*..... 202

Émission d'acide carbonique..... 202
Absorption d'oxygène..... 202
Absorption complète d'oxygène..... 203
§ 55. — *L'oxygène est nécessaire à la vie de la plante*..... 205
§ 56. — *Conditions qui influent sur l'activité de la respiration*..... 207
a, Influence de l'élévation de température..... 207
b, Santé de l'organe en expérience..... 207
c, Nature des organes..... 208
Influence de l'espèce..... 209
§ 57. — *Influence de la composition de l'atmosphère sur la production d'acide carbonique*..... 209
Les feuilles soustraites à l'action de l'oxygène continuent d'émettre de l'acide carbonique..... 209
§ 58. — *Détermination du rapport* $\frac{CO^2}{O}$ *de l'acide carbonique émis à l'oxygène absorbé*..... 211
Méthode du vide..... 211
Méthode des deux prises..... 212
Méthode de compensation..... 213
Le rapport $\frac{CO^2}{O}$ est souvent plus grand que l'unité. — Conséquences... 214
§ 59. — *Chaleur produite par la respiration végétale*..... 215
§ 60. — *Sur les matières végétales brûlées pendant la respiration*..... 216
§ 61. — *Hypothèse sur la respiration végétale*..... 218
§ 62. — *Comparaison de la respiration à l'assimilation*..... 219

CHAPITRE VIII.

PRINCIPES IMMÉDIATS CONTENUS DANS LES VÉGÉTAUX.

HYDRATES DE CARBONE..... 221
§ 63. — *Les hydrates de carbone proviennent de la condensation de l'aldéhyde méthylique* CH^2O..... 222
Présence dans les végétaux de l'acide formique et de l'alcool méthylique 223
Synthèse du formose..... 224
Hydrates de carbone renfermant 5 et 7 atomes de carbone..... 224
§ 64. — *Matières sucrées*..... 225
Propriétés des glycoses..... 226
Dosage des glycoses..... 228
Inosite..... 230
Mannites..... 231
Dulcite..... 232
Sorbite..... 232
Perséite..... 232
§ 65. — *Polyglycoses*..... 232
Sucre de canne ou saccharose..... 233
Dosage du sucre de canne..... 234
Lactose..... 235
Raffinose ou mélitose..... 235
§ 66. — *Gommes*..... 235
§ 67. — *Dextrines*..... 236

§ 68. — *Matières amylacées*.... 236
Recherche dans les feuilles.... 237
Mode de formation.... 238
Formation d'amidon avec les homologues inférieurs des glycoses.... 239
§ 69. — *Celluloses*.... 240
MATIÈRES TERNAIRES NE PRÉSENTANT PLUS LA COMPOSITION DES HYDRATES DE CARBONE.... 241
§ 70. — *Vasculoses*.... 241
§ 71. — *Cutose*.... 242
§ 72. — *Matières grasses*.... 242
Constitution.... 243
Origine des matières grasses.... 244
§ 73. — *Tannins*.... 245
Mode de dosage.... 245
Richesse des principales variétés de matières tannantes commerciales
Origine des tannins.... 247
§ 74. — *Acides végétaux*.... 248
Dosage des acides libres.... 249
Formation des acides dans les tissus végétaux.... 249
Acide oxalique.... 251
Dosage.... 251
Origine.... 252
Acide lactique $C^3H^6O^3$.... 253
Acide malique $C^4H^6O^5$.... 253
Acides tartriques $C^4H^6O^6$.... 254
Dosage de l'acide tartrique à l'état de bitartrate de potasse.... 255
Dosage approximatif des tartres bruts.... 255
Origine des acides malique et tartrique.... 256
Acide citrique $C^6H^8O^7$.... 256
§ 75. — *Acides volatils*.... 257
Acide cyanhydrique.... 257
Acide formique CH^2O^2.... 257
Acide acétique $C^2H^4O^2$.... 257
Acide butyrique $C^4H^8O^2$.... 258
Acide valérique $C^5H^{10}O^2$.... 258
§ 76. — *Résines*.... 258
Caoutchouc.... 258
Gutta-percha.... 260
Térébenthines.... 260
Térébenthine de Bordeaux.... 261
§ 77. — *Essences*.... 262
Dosages des essences.... 262
MATIÈRES AZOTÉES.... 263
Nitrates.... 263
Sels ammoniacaux.... 264
§ 78. — *Alcaloïdes*.... 264
§ 79. — *Corps amidés*.... 265
Asparagine.... 266
Leucine.... 266

Tyrosine ... 267
Acide glutamique ... 267
Glutamine ... 267
Dosage des amides et des matières albuminoïdes ... 267
§ 80. — *Albuminoïdes* ... 267
Albumine végétale ... 268
Caséines végétales ... 269
Gluten ... 269

CHAPITRE IX.

DU MOUVEMENT DE L'EAU DANS LA PLANTE.

§ 81. — *Absorption de l'eau par la racine* ... 270
Du contact de la racine avec les éléments solides du sol ... 270
Expériences de Jamin ... 273
§ 82. — *Ascension de l'eau dans la plante* ... 274
Expérience de Hales ... 274
Pleurs de la vigne ... 275
§ 83. — *Ascension de l'eau dans les vaisseaux* ... 276
Expériences de M. Vesque ... 275
Expériences de M. Capus ... 275
De la pression dans les vaisseaux ... 276
TRANSPIRATION ... 280
§ 84. — *Démonstration expérimentale* ... 280
Quantité d'eau émise en une heure par les feuilles exposées au soleil ... 281
§ 85. — *L'absorption comparée à la transpiration* ... 282
§ 86. — *Transpiration de diverses espèces végétales* ... 284
Expérience de Hales ... 284
Travaux de sir John-B. Lawes ... 285
Recherches d'Haberlandt ... 286
§ 87. — *Influence de l'âge de la feuille sur l'énergie de la transpiration* ... 288
Expériences d'Haberlandt ... 288
Expériences exécutées à Grignon (1869) ... 289
Quantité d'eau évaporée par des feuilles de seigle de différents âges exposées pendant une heure au soleil ... 289
Expériences de M. J. Vesque ... 289
Expériences de M. von Hohnel ... 292
§ 88. — *Influence des radiations sur l'évaporation* ... 292
Travaux de Guettard ... 292
Expériences exécutées à Grignon ... 293
Quantité d'eau évaporée en une heure par les feuilles exposées au soleil, à la lumière diffuse ou à l'obscurité ... 293
§ 89. — *Influence des divers rayons lumineux* ... 297
Évaporation des feuilles de maïs exposées pendant une heure au soleil dans des manchons renfermant des dissolutions diversement colorées. 297
Influence comparée de divers rayons lumineux sur la décomposition de l'acide carbonique et sur l'évaporation de l'eau des feuilles ... 299
§ 90. — *Transpiration à diverses heures de la journée et pendant la nuit* ... 301

§ 91. — *Influence qu'exerce la transpiration sur la distribution des espèces.* 302
Résumé des phénomènes de transpiration..... 304

CHAPITRE X.

ACCROISSEMENT ET MATURATION.

DÉVELOPPEMENT DE LA PLANTE HERBACÉE..... 306
§ 92. — *Premier âge, prédominance de la racine*..... 306
§ 93. — *Deuxième âge, prédominance de la feuille*..... 308
§ 94. — *Troisième partie de la vie de la plante herbacée. — Floraison et maturation*..... 309
FÉCONDATION..... 309
§ 95. — *Des changements qui surviennent dans le poids de la matière sèche des plantes herbacées*..... 311
Colinsia bicolor..... 312
Développement du Colinsia bicolor..... 313
Delphinium Ajacis..... 314
Sinapis alba..... 315
Poids de la récolte sèche d'un hectare de blé..... 318
Poids de la récolte sèche d'un hectare de colza..... 318
Poids de la matière sèche d'un hectare d'avoine..... 318
§ 96. — *Migration des principes immédiats*..... 319
Dissolution des principes élaborés. — Amidon..... 319
Matières azotées..... 321
Matières minérales..... 321
Acide phosphorique contenu dans la récolte de colza, obtenue d'un hectare..... 322
Aliquote par kilogramme d'acide phosphorique imputable à chacune des parties de la plante..... 322
§ 97. — *Mécanisme de la migration des principes immédiats*..... 323
Acide phosphorique dans la récolte d'un hectare..... 323
Influence de la dessiccation..... 324
Influence des précipitations..... 325
ACCUMULATION DES RÉSERVES SOLUBLES..... 328
§ 98. — *Du mouvement des principes immédiats dans les végétaux ligneux*.. 329
§ 99. — *Mouvements variés du latex ; expériences de Faivre*..... 330
§ 100. — *Composition de diverses sèves*..... 332
Sèves sucrées..... 333
Sève laiteuse de l'Hura crepitans (ajuapar)..... 334
Suc de l'arbre à vache ou galactodendron..... 334
§ 101. — *Maturation dans les plantes ligneuses*..... 335

DEUXIÈME PARTIE
LA TERRE ARABLE.

CHAPITRE PREMIER.
FORMATION DE LA TERRE ARABLE.

§ 102. — *Décomposition des roches sur place*..... 338
Actions mécaniques. Pulvérisation spontanée..... 338
Influence de la gelée..... 339
Action de l'oxygène, de l'acide carbonique sur les roches..... 339
Détritus organiques..... 344
§ 103. — *Terrains de transport*..... 347
Dunes..... 350

CHAPITRE II.
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES TERRES ARABLES.

§ 104. — *Étude des propriétés physiques des éléments constitutifs de la terre arable*..... 352
§ 105. — *Absorption de l'eau par les divers éléments des terres arables*.... 353
Pénétration de l'eau de pluie..... 353
Absorption de l'eau par les éléments..... 354
Pénétration, dans les éléments, des eaux souterraines..... 355
Absorption de la vapeur d'eau par les éléments des terres..... 356
§ 106. — *Évaporation de l'eau par les éléments*..... 357
§ 107. — *Densité, retrait par dessiccation, propriétés calorifiques et ténacité des divers éléments*..... 358
Volume occupé par 100 grammes..... 358
Densité des divers éléments..... 359
Retrait des éléments par dessiccation..... 359
Propriétés calorifiques des éléments..... 359
Ténacité des divers éléments..... 359
ÉTUDE DES TERRES AU LABORATOIRE..... 360
§ 108. — *Analyse physique des terres*..... 360
Prise d'échantillons..... 360
Séparation des cailloux et de la terre fine..... 361
Analyse de la terre fine..... 361
§ 109. — *Constitution physique des terres*..... 363
Qualités à rechercher dans une terre arable..... 364
§ 110. — *Classification des terres*..... 366
Étude des sols en place..... 369
§ 111. — *Utilité de l'ameublissement du sous-sol*..... 370
Influence du sous-sol sur l'humidité du sol..... 370
§ 112. — *Influence de la nature du sous-sol*..... 371
Terres légères et sous-sol perméable..... 371

Terres légères à sous-sol imperméable..... 373
Terres fortes et terrains perméables..... 375
Terres fortes et sous-sols imperméables..... 375
§ 113. — *Travaux exécutés par le cultivateur pour ameublir le sol*..... 377

CHAPITRE III.

ANALYSE CHIMIQUE DE LA TERRE ARABLE.

§ 114. — *Dosage de l'azote*..... 379
§ 115. — *Dosage de l'acide nitrique*..... 380
Dissolution des nitrates..... 380
§ 116. — *Dosage de l'ammoniaque*..... 384
§ 117. — *Dosage du carbone des matières organiques*..... 384
Voie sèche..... 384
Voie humide..... 385
§ 118. — *Dosage de l'acide phosphorique et de la potasse*..... 386
Acide phosphorique total..... 386
Dosage de l'acide phosphorique assimilable..... 387
Dosage de la potasse..... 387
Dosage de la potasse totale..... 387
§ 119. — *Considérations sur l'analyse chimique de la terre arable*..... 389

CHAPITRE IV.

CONSTITUTION CHIMIQUE DES TERRES ARABLES.

MATIÈRE ORGANIQUE DE LA TERRE ARABLE..... 391
§ 120. — *Azote et carbone des matières organiques de diverses terres*..... 391
Teneur en carbone et en azote de diverses terres..... 392
Origine de la matière ulmique..... 393
La matière azotée de la terre arable se comporte comme une amide... 394
§ 121. — *Abondance de la matière organique azotée insoluble de la terre arable*..... 395
Théorie minérale de Liebig. — Réfutation..... 396
§ 122. — *Formation de l'ammoniaque dans la terre arable*..... 398
§ 123. — *Oxydation de la matière organique du sol.* — Production d'acide carbonique. — Composition de l'atmosphère confinée des terres arables..... 400
Azote et carbone par kilo, de terres restées longtemps sans engrais et de terres régulièrement fumées (Champ d'expérience de Grignon)... 401
FORMATION DES NITRATES DANS LA TERRE ARABLE..... 402
§ 124. — *Historique*..... 402
Nitrification de l'ammoniaque sous l'influence des corps poreux..... 402
Expérience de Boussingault..... 403
§ 125. — *La nitrification est due à l'action d'un ferment*..... 403
Découverte du ferment nitrique..... 403
Diffusion du ferment nitrique..... 404
§ 126. — *Conditions d'activité du ferment nitrique*..... 405
Libre circulation de l'air..... 405

Humidité..... 406
Azote nitrique contenu dans l'eau de drainage d'un hectare de terres nues (de juin 89 à juin 90)..... 407
Présence d'une matière azotée nitrifiable..... 407
Présence d'une base salifiable..... 409
Circonstances diverses qui favorisent la nitrification. — Température.. 410
Trituration du sol..... 410
Conditions qui retardent ou arrêtent la nitrification. — Présence des nitrates..... 410
Sel marin..... 411
Résumé des conditions de la nitrification..... 411
§ 127. — *Matières que doit présenter la terre arable pour assurer l'alimentation azotée des végétaux*..... 412
DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DES TERRES ARABLES..... 413
§ 128. — *Quantités d'acide phosphorique contenu dans différents sols*..... 413
Terres provenant de la désagrégation du granite (Auvergne)..... 414
Terres provenant de la désagrégation des roches volcaniques (Limagne d'Auvergne)..... 414
§ 129. — *Sur l'état de l'acide phosphorique dans la terre arable*..... 416
Formes sous lesquelles l'acide phosphorique existe dans le sol..... 417
Acide phosphorique total et assimilable dans divers sols..... 418
§ 130. — *Changements d'état de l'acide phosphorique du sol*..... 421
POTASSE DES TERRES ARABLES..... 423
§ 131. — *Quantités de potasse contenues dans les terres arables*..... 423
Quantité de potasse totale contenue dans un hectare de différentes terres. 424
§ 132. — *État de la potasse dans la terre arable*..... 425
Action de l'eau..... 425
Potasse dans les eaux de drainage..... 426
Action de l'eau employée en excès..... 426
§ 133. — *Présence du chlore*..... 429
§ 134. — *Présence dans le sol de la chaux, de la silice, de l'oxyde de fer*.. 430
§ 135. — *Compositions physiques et chimiques d'un certain nombre de sols*. 430
Composition physique et chimique d'un kilogr. de terre de diverses provenances..... 431

CHAPITRE V

PROPRIÉTÉS ABSORBANTES DES TERRES ARABLES.

§ 136. — *Démonstration expérimentale*..... 432
Quantités d'ammoniaque absorbée par la terre arable..... 432
Causes de l'absorption de l'ammoniaque par la terre arable..... 434
La terre arable n'absorbe jamais complètement l'ammoniaque d'une dissolution..... 436
§ 137. — *Absorption des bases et des sels par la terre arable*..... 437
Absorption de la potasse et de la soude..... 437
Absorption différente des carbonates et des sulfates..... 437
Absorption comparée de la potasse à l'état de carbonate et à l'état de sulfate..... 438

Absorption du silicate de potasse..... 439
Absorption du phosphate de chaux soluble..... 439
§ 138. — *Les nitrates ne sont pas absorbés par la terre arable. — Conséquences*..... 441
Démonstration expérimentale..... 442
Conséquences de la non-absorption des nitrates par la terre arable.... 442
§ 139. — *Composition de l'eau qui circule dans la terre arable*..... 443
ÉTUDE DES EAUX DE DRAINAGE..... 448
§ 140. — *Drainage d'une terre sans végétation*..... 449
Travaux exécutés à Rothamsted..... 449
Composition des eaux de drainage de Rothamsted (moyenne des trois caisses de filtration) en grammes par mètre cube. Analyses du Dr Frankland..... 450
Quantités d'azote nitrique et de chlore enlevées à un hectare de terre par les eaux de drainage pendant les trois années 1877-80..... 450
Eau de drainage et acide nitrique recueillis à des profondeurs de 0m,50 et 1m,50 moyenne des neuf années 1877-1886..... 451
Travaux exécutés en France..... 451
Pluie et eaux de drainage de juin 1889 à juin 1890 (Grignon, Seine-et-Oise). 453
Azote nitrique dans les eaux de drainage de juin 1889 à juin 1890..... 454
§ 141. — *Composition des eaux de drainage d'un sol cultivé recevant des doses variables d'engrais différents*..... 456
Composition moyenne des eaux de drainage recueillies au champ de blé de Broadbalkfield en grammes par mètre cube (1874)..... 457
Quantités d'azote nitrique perdues aux diverses époques de l'année... 458
Azote nitrique contenu dans un mètre cube d'eau de drainage à différentes époques de l'année et quantité totale d'azote nitrique perdue annuellement par hectare. Moyenne de trois ans (1878-1881)..... 459
Composition des eaux de drainage en grammes par mètre cube. — Champ de blé de Rothamsted..... 461
§ 142. — *Sur l'engrais en terre. — Résidus laissés par les fumures antérieures*..... 462
Sur les résidus laissés par les fumures d'engrais azoté..... 463
Azote retrouvé dans l'augmentation de récolte..... 465
Culture continue du blé. — Azote contenu dans l'engrais et retrouvé dans la récolte ou les eaux de drainage. — Moyenne de trente années (1851-1881)..... 467
Influences qu'exercent sur les récoltes les fumures antérieures d'engrais azotés solubles..... 469
Résidus laissés par les fumures de fumier de ferme. — Travaux exécutés au champ d'expériences de Grignon..... 470
§ 143. — *Résumé. — Influence des propriétés absorbantes sur la composition de l'engrais en terre*..... 472

CHAPITRE VI

STÉRILITÉ DES TERRES ARABLES.

§ 144. — *Stérilité par mauvaise constitution physique du sol*..... 474
Stérilité par manque d'épaisseur de la couche arable..... 474

§ 145. — *Terres stérilisées par la présence de matières nuisibles aux végétaux* 479
Sulfate de fer 480
Sel marin 481
STÉRILITÉ DUE A UN MAUVAIS MODE DE CULTURE 483
§ 146. — *Épuisement du sol par la culture sans engrais* 483
Épuisement en azote combiné d'un sol cultivé sans engrais 485
Épuisement en humus 486
Épuisement en acide phosphorique 488
Épuisement en potasse 489
§ 147. — *Généralisation des faits constatés au champ d'expériences de Grignon* 489
Disparition de l'humus dans les sols cultivés sans engrais 490
§ 148. — *Gains d'azote des terres arables* 492
Fixation dans le sol de l'ammoniaque atmosphérique. Travaux de M. Schlœsing 494
Fixation de l'azote atmosphérique par action microbienne. — Expériences de M. Berthelot 495
Expériences sur des terres en pots. — MM. A. Gautier et Drouin 497
Expériences de M. Pagnoul 497
§ 149. — *Résumé. — Conditions dans lesquelles les terres perdent ou gagnent de l'azote. — Cultures épuisantes et améliorantes* 498
Réduction des nitrates 499
Pertes par nitrification 500
Gains dans les terres non labourées 502
§ 150. — *Épuisement du sol en acide phosphorique et en potasse* 505
§ 151. — *La stérilité des régions méridionales est due à la sécheresse* 507
Influence réfrigérante des végétaux 508
§ 152. — *La sécheresse est due aux déboisements* 510
§ 153. — *Les causes du déboisement* 511
Exploitation 511
Conclusion. — L'épuisement des terres arables dans la région septentrionale n'est pas à craindre 514

TROISIÈME PARTIE

AMENDEMENTS ET ENGRAIS.

PREMIÈRE SECTION

AMENDEMENTS.

CHAPITRE PREMIER

AMENDEMENTS CALCAIRES. — MARNES. — CHAUX. — TANGUES.

§ 154. — *De la marne* 517
Propriété caractéristique 517

Diverses variétés de marnes..... 517
Analyse chimique et physique des marnes..... 518
§ 155. — *De la chaux*..... 519
Cuisson de la chaux..... 519
Diverses variétés de chaux..... 519
§ 156. — *Actions qu'exercent les amendements calcaires sur la terre arable.* 520
Les amendements calcaires n'ont pas seulement pour but de fournir aux plantes la chaux qu'on trouve dans leurs cendres..... 520
Action de la chaux sur les propriétés physiques des terres arables.... 521
Action de la chaux sur les matières azotées du sol..... 522
Action de la chaux sur les matières noires du fumier..... 523
Influence du chaulage sur la solubilité de l'acide phosphorique enfoui dans la terre arable..... 524
§ 157. — *De la tangue*..... 526
Influence des amendements calcaires sur la modification de la flore... 530
§ 158. — *Résidus calcaires des diverses industries*..... 531
Écumes de défécation..... 531
Chaux d'épuration du gaz..... 532
§ 159. — *Quantités de chaux et de marne à employer*..... 532
Chaux..... 532
Marne..... 533
§ 160. — *Inconvénients des amendements calcaires*..... 533
§ 161. — *Résumé des effets attribués aux amendements calcaires*..... 535

CHAPITRE II

DU PLÂTRAGE DES TERRES ARABLES.

§ 162. — *Historique de l'emploi du plâtre en agriculture*..... 536
Enquête de Bosc..... 537
Expériences de M. Smith, de M. de Villèle, de l'École de Grignon..... 537
Proportion du plâtre à employer..... 541
§ 163. — *Explications des effets utiles du plâtre*..... 541
Composition des cendres de trèfle plâtré et non plâtré..... 542
Influence du plâtre sur la formation de l'ammoniaque et sur la nitrification..... 543
Le plâtre favorise la diffusion de la potasse dans la terre arable..... 543
Les sulfates sont réduits dans la terre arable et les bases amenées à l'état de carbonates..... 546
Influence du plâtrage sur l'assimilation des matières ulmiques..... 547

CHAPITRE III

JACHÈRE. — ÉCOBUAGE.

JACHÈRE..... 548
§ 164. — *La jachère facilite le travail du sol*..... 549
§ 165. — *La jachère permet la destruction des plantes adventices*..... 550
§ 166. — *Influence qu'exerce la jachère sur l'enrichissement du sol*..... 551
Gains d'azote. Ammoniaque et acide azotique des eaux météoriques. Fixation d'azote libre..... 552

Pertes d'azote d'un sol dénudé..... 553
Ecobuage..... 555

CHAPITRE IV

IRRIGATIONS.

Irrigations en Provence..... 558
§ 167. — *Quantités d'eau employées par diverses cultures dans les régions méridionales*..... 559
Eau employée à la submersion des vignes..... 561
§ 168. — *Captation des eaux d'irrigation*..... 561
Irrigations par canaux..... 562
Prises d'eau dans les rivières voisines des terrains à irriguer..... 563
Irrigations à l'aide de barrages..... 564
§ 169. — *Distribution des eaux*..... 566
§ 170. — Emploi de l'eau par les intéressés..... 567
Méthode des ados..... 567
Méthode par déversement..... 569
Méthode par infiltration..... 570
Méthode par submersion..... 571
§ 171. — *Plus-values réalisées par l'emploi des arrosages*..... 573
§ 172. — *Irrigations dans les régions septentrionales*..... 576
Irrigations dans les Vosges..... 576
§ 173. — *Irrigations dans la France centrale*..... 577
§ 174. — *Irrigations à l'étranger*..... 578
Italie. — Marcites..... 578
Espagne..... 579
§ 175. — *Résumé. — Développement des entreprises d'irrigations*..... 580

SECONDE SECTION

ENGRAIS.

§ 176. — *Définition de l'engrais*..... 583
L'engrais est la matière utile à la plante..... 583
L'engrais est la matière qui manque au sol..... 585
Résumé. — Nécessité des champs d'expériences..... 586

CHAPITRE V

ENGRAIS VÉGÉTAUX.

§ 177. — *Résidus des récoltes*..... 587
Cultures des céréales..... 587
Culture des légumineuses..... 589
Betteraves. Pommes de terre, etc..... 590
§ 178. — *Plantes cultivées comme engrais*..... 592
Décomposition dans le sol..... 594
§ 179. — *Plantes spontanées employées comme engrais*..... 597

Feuilles des arbres 598
Tiges 598
§ 180. — *Plantes marines employées comme engrais* 598
§ 181. — *Tourteaux* 600
Composition et valeur de divers tourteaux de graines oléagineuses 601
Tourteau de maïs 602
Emploi des tourteaux 602
§ 182. — *Résidus industriels* 603
Écumes de défécation 603
Touraillons 604
Marc de raisin 604
Marc de pommes 605
Eaux industrielles 605
§ 183. — *Utilisation des débris végétaux. — Terreaux* 606

CHAPITRE VI

ENGRAIS D'ORIGINE ANIMALE.

GUANOS. — DÉBRIS ANIMAUX 608
§ 184. — *Origine du guano* 608
§ 185. — *Composition du guano* 609
Réactions diverses qui rendent soluble le phosphate de chaux du guano. 611
Traitement par l'acide sulfurique. Guano dissous 611
Falsifications du guano 612
§ 186. — *Guano de chauves-souris* 612
§ 187. — *Colombine* 613
§ 188. — *Guanos phosphatés* 613
§ 189. — *Engrais de poisson* 614
§ 190. — *Sang desséché* 615
§ 191. — *Chair desséchée* 615
§ 192. — *Débris de laine* 618
§ 193. — *Engrais de cuir* 619
§ 194. — *Classification des engrais animaux* 620

CHAPITRE VII

EMPLOI AGRICOLE DES MATIÈRES EXCRÉMENTITIELLES.

§ 195. — *Composition des déjections de l'homme* 626
§ 196. — *Engrais flamand* 628
§ 197. — *Fabrication de la poudrette* 631
§ 198. — *Eaux vannes* 634
Emploi des eaux vannes à la fabrication du sulfate d'ammoniaque 635
§ 199. — *Inconvénients d'écouler les eaux d'égout aux rivières* 637
§ 200. — *Emploi des eaux d'égout aux irrigations en Angleterre* 638
Irrigations à Norwood 639
Irrigations à Croydon 640
Résumé des opérations exécutées en Angleterre par the Board of Health 641
Expériences de M. Lawes sur la valeur du foin récolté sur les prairies irriguées avec les eaux d'égout 641

§ 201. — *Emploi des eaux d'égout dans la plaine de Gennevilliers*..... 642
§ 202. — *État sanitaire des terrains arrosés*..... 645
§ 203. — *De l'emploi des vidanges des villes. — Tout à l'usine*..... 647

CHAPITRE VIII

LES ENGRAIS AZOTÉS SALINS. — SULFATE D'AMMONIAQUE ET NITRATE DE SOUDE

SULFATE D'AMMONIAQUE..... 649
§ 204. — *Origine et mode de préparation*..... 649
Préparation à l'aide des eaux vannes..... 649
Fabrication à l'aide des eaux d'épuration du gaz d'éclairage..... 650
Fabrication des sels ammoniacaux avec l'azote de l'air..... 650
Prix..... 650
§ 205. — *Emploi du sulfate d'ammoniaque*..... 651
Influence de l'humidité..... 656
Influence des doses de sel ammoniacal employé..... 657
§ 206. — *Époque de l'épandage*..... 657
NITRATE DE SOUDE..... 660
§ 207. — *Gisement. — Extraction*..... 660
§ 208. — *Composition. — Prix. — Falsifications*..... 661
§ 209. — *Emploi du nitrate de soude*..... 662
Emploi du nitrate de soude mélangé au fumier..... 664
Influence du nitrate de soude pendant les années de sécheresse..... 665
§ 210. — *Perte du nitrate de soude par les eaux de drainage*..... 667
§ 211. — *Valeur comparée de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique*..... 668

CHAPITRE IX

FUMIER DE FERME. — GADOUES.

§ 212. — *Détermination des matières qui donnent au fumier sa valeur. — Production des matières ulmiques*..... 671
§ 213. — *Composition des déjections des animaux*..... 673
§ 214. — *Composition des litières*..... 675
§ 215. — *Fermentations du fumier*..... 678
Composition de l'atmosphère confinée dans le fumier..... 678
Fermentation aérobie..... 679
Origine des ferments du fumier..... 682
§ 216. — *Réactions qui se produisent dans les tas de fumier*..... 683
Matières détruites pendant les fermentations..... 683
Préparation de la matière noire du fumier..... 684
§ 217. — *Origine des matières azotées du fumier*..... 685
Albuminoïdes de la paille..... 685
Matières azotées des excréments solides..... 685
Transformation de l'ammoniaque en matière organique azotée..... 686
§ 218. — *Pertes d'azote*..... 687
A l'état libre..... 687
Pertes d'ammoniaque..... 687

219. *Pertes d'azote des fourrages consommés par les animaux*..... 690
§ 220. — *Composition immédiate du fumier de ferme*..... 692
Pailles grossières..... 692
Menues pailles.. 692
Matière soluble..... 694
Purin..... 695
§ 221. — *Composition élémentaire du fumier et du purin*. 695
Composition élémentaire de divers fumiers..... 696
Composition élémentaire de divers purins..... 696
Présence des sulfures dans le tas de fumier..... 697
§ 222. — *Pertes que subit le fumier exposé à l'air*..... 698
§ 223. — *Arrosage du fumier*..... 699
§ 224. — *Sur la disposition à donner au fumier*..... 700
Relations entre le fumier produit et le nombre des animaux entretenus. 705
EMPLOI DU FUMIER..... 702
§ 225. — *Emploi du fumier sur les terres fortes*..... 706
Exemples de cultures sans fumier sur les terres fortes..... 706
§ 226. — *Emploi du fumier sur les terres légères*..... 708
§ 227. — *Emploi simultané du fumier et des engrais salins*..... 710
§ 228. — *Des transformations que subit dans le sol le fumier enfoui*..... 712
§ 229. — *Emploi des fumiers frais et des fumiers consommés*..... 716
§ 230. — *Durée d'action du fumier. — Fumures mixtes*..... 716
§ 231. — *Emploi du fumier enfoui ou en couverture*..... 718
§ 232. — *Composts. — Mélange du fumier à la chaux*..... 719
GADOUES. — BOUES DE VILLE..... 721

CHAPITRE X

PHOSPHATES.

HISTORIQUE DE L'EMPLOI AGRICOLE DES PHOSPHATES..... 723
Emploi du noir animal comme engrais..... 724
Les os et le noir animal agissent par leur phosphate de chaux. — Expériences du duc de Richmond..... 726
Découverte et emploi des phosphates minéraux..... 727
PHOSPHATES MINÉRAUX..... 729
§ 233. — *Apatites et phosphorites*..... 729
Apatites du Nassau..... 729
Apatites de Logrosan (Estramadure, Espagne)..... 729
Chaux phosphatée du Tarn-et-Garonne et du Lot..... 730
Phosphates du Gard..... 731
Phosphates de la Podolie (Russie)..... 731
§ 234. — *Sables phosphatés*..... 731
§ 235. — *Nodules ou pseudo-coprolythes*..... 732
Nodules du sud de la Tunisie..... 735
Exploitation des nodules..... 735
§ 236. — *Scories de déphosphoration*..... 736
PHOSPHATES D'ORIGINE ANIMALE..... 737
§ 237. — *Os. — Noir animal*..... 737

§ 238. — *Guanos phosphatés*..... 738
SUPERPHOSPHATES..... 739
§ 239. — *Constitution des superphosphates*..... 739
§ 240. — *Fabrication des superphosphates*..... 739
§ 241. — *Réactions qui se produisent après la fabrication des superphosphates. — Rétrogradation*..... 741
§ 242. — *Valeur agricole de l'acide phosphorique rétrogradé*..... 745
243. — *Phosphate précipité*..... 747
EMPLOI DES ENGRAIS PHOSPHATÉS..... 748
§ 244. — *Terres où la réussite de l'acide phosphorique est très probable*.. 749
Faible teneur en acide phosphorique total..... 749
Faible teneur en acide phosphorique assimilable..... 750
Faible teneur en acide phosphorique due au peu d'épaisseur de la terre arable..... 750
§ 245. — *Terres sur lesquelles l'emploi de l'acide phosphorique est généralement inutile*..... 751
Modifications qui surviennent dans l'état de l'acide phosphorique du sol..... 752
EMPLOI DES PHOSPHATES NATURELS..... 753
§ 246. — *Essais de laboratoire*..... 753
Acide carbonique..... 754
Composts de tourbe et de phosphates naturels..... 755
Mélange de la poudre des nodules avec le fumier..... 756
Action des carbonates..... 757
§ 247. — *Influence de la pulvérisation*..... 757
§ 248. — *Terres sur lesquelles les phosphates naturels réussissent*..... 758
§ 249. — *Emplois successifs des phosphates et de la chaux*..... 760
EMPLOI DES SUPERPHOSPHATES..... 761
§ 250. — *Expériences de laboratoire*..... 761
§ 251. — *Expériences de culture*..... 762
§ 252. — *Comparaison entre les superphosphates et les phosphates non traités par l'acide sulfurique*..... 763
§ 253. — *Emploi des scories de déphosphoration*..... 766
§ 254. — *Résumé. — Mode d'emploi des engrais phosphatés*..... 769

CHAPITRE XI

ENGRAIS DE POTASSE. — CHLORURE DE SODIUM. — SULFATE DE FER.

§ 255. — *De l'abondance ou de la rareté de la potasse dans les terrains de diverses formations géologiques*..... 772
Terres pauvres en potasse..... 773
§ 256. — *Origine des engrais de potasse*..... 774
§ 257. — *Emploi des engrais de potasse sur les tubercules et les racines*.. 776
Emploi sur les cultures de pommes de terre..... 777
Topinambours..... 779
Betteraves..... 779
§ 258. — *Emploi des engrais de potasse sur les céréales*..... 780
Blé..... 780
Avoine..... 782

§ 259. — *Emploi des sels de potasse sur les prairies*..... 783
§ 260. — *Emploi des sels de potasse à la culture du tabac*..... 786
§ 261. — *Emploi des sels de potasse dans la culture de la vigne*..... 787
§ 262. — *Sel marin*..... 788
§ 263. — *Sels de fer*..... 789
Cendres pyriteuses. — Cendres de Picardie..... 790

CHAPITRE XII

ENGRAIS CHIMIQUES.

§ 264. — *De la composition des engrais chimiques*..... 792
§ 265. — *De l'emploi exclusif des engrais chimiques*..... 795
Disposition d'un champ d'expériences..... 796
Doses d'engrais chimiques à employer..... 798
Mode d'emploi des engrais chimiques..... 799
Pertes d'azote nitrique dans les mélanges de nitrate et de superphosphate..... 800
§ 266. — *Emploi simultané du fumier et des engrais chimiques*..... 802
§ 267. — *Emploi simultané des engrais verts et des engrais chimiques*..... 804
§ 268. — *Quantités d'engrais chimique à employer pour compléter les fumures de fumier et d'engrais vert*..... 805
Composition des récoltes..... 806
Calcul de l'azote pour une culture de betteraves..... 806
— de l'acide phosphorique..... 814
— de la potasse..... 815
§ 269. — *Calcul des engrais complémentaires pour le blé*..... 816

CHAPITRE XIII

COMMERCE ET ANALYSE DES ENGRAIS.

Loi concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais... 817
Décret portant règlement d'administration publique pour l'application de la loi concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais.. 819
Arrêté désignant les chimistes experts pour le prélèvement et l'analyse des échantillons d'engrais..... 824
Rapport du Comité des stations agronomiques et des laboratoires agricoles. 832
I. — Considérations générales..... 832
II. — Examen préliminaire des engrais..... 835
III. — Échantillonnage des engrais..... 837
IV. — Dosage de la potasse..... 838
1° Dans un chlorure par l'acide perchlorique..... 839
2° Dans un sulfate par l'acide perchlorique..... 840
3° Dans un engrais complexe par l'acide perchlorique..... 841
4° Par la réduction du chloroplatinate..... 842
5° Par la pesée du chloroplatinate..... 843
6° Détermination de la soude..... 843
V. — Dosage de l'azote sous ses divers états..... 845
1° Azote organique dans un engrais riche sans nitrates..... 845
2° Dans un engrais pauvre en azote sans nitrates..... 846
3° Dans les substances peu homogènes et difficiles à pulvériser... 847

4° Dans un engrais complexe..... 847
5° Méthode Kjeldalh..... 848
6° Dosage de l'ammoniaque..... 848
7° Dosage de l'ammoniaque dans un engrais complexe..... 851
8° Dosage de l'acide nitrique dans les nitrates..... 852
VI. — Dosage de l'acide phosphorique sous ses divers états..... 855
1° Remarques générales sur l'acide phosphorique..... 855
2° Dosage de l'acide phosphorique dans un phosphate naturel..... 857
3° Méthode par le phosphate ammoniaco-magnésien..... 858
4° Modification au procédé précédent..... 860
5° Dosage dans les guanos, etc..... 862
6° Dosage dans les phosphates précipités..... 862
7° Dosage par le molybdale..... 863
8° Dosage dans les superphosphates..... 864
9° Scories de déphosphoration..... 866

CHAPITRE XIV

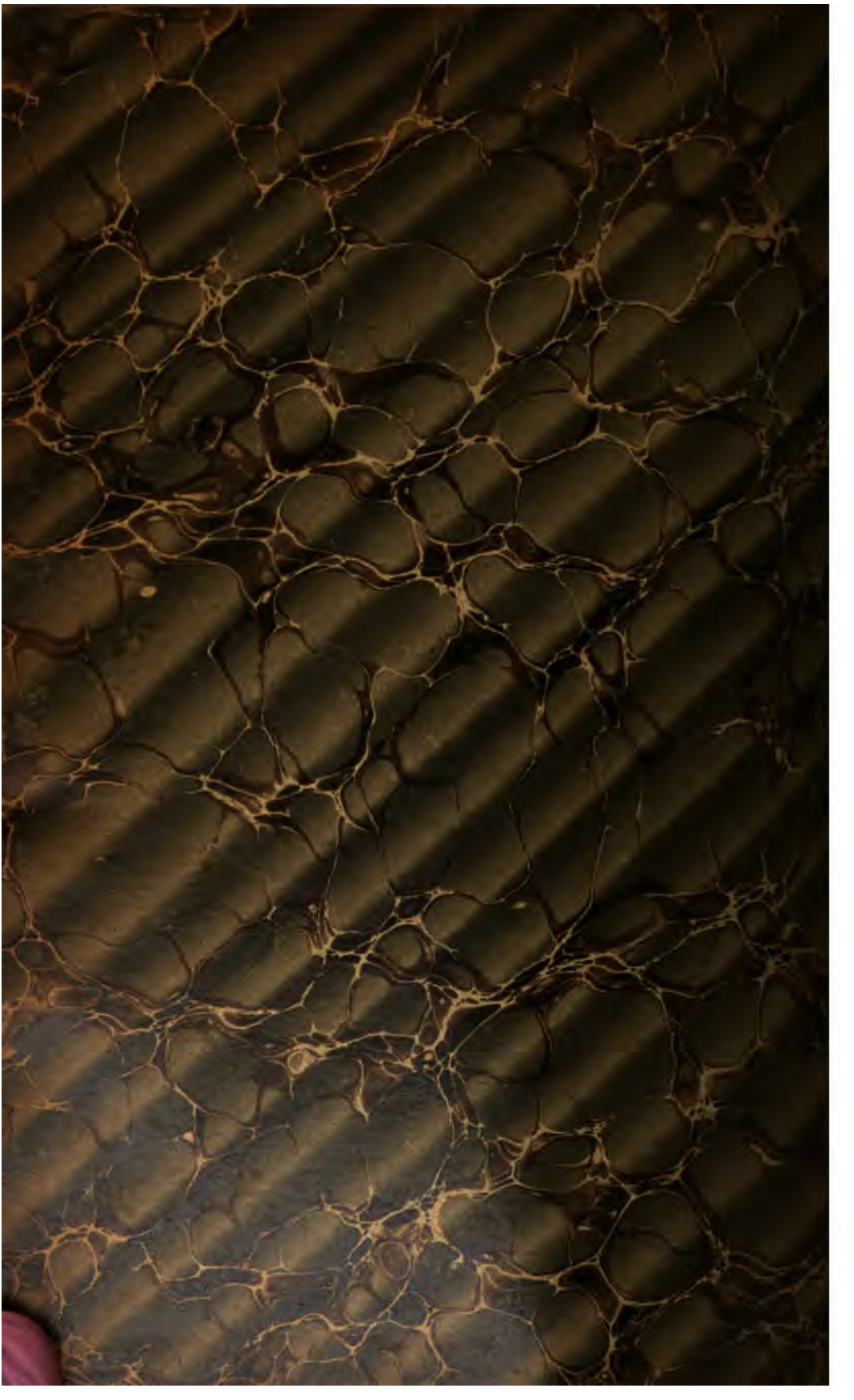
PRIX ET VALEUR DES ENGRAIS.

§ 270. — *Prix des engrais*..... 867
§ 271. — *La valeur des engrais n'est pas représentée par leur prix d'achat ou leur prix de revient*..... 870
§ 272. — *Méthode employée pour calculer la valeur des engrais*..... 871
Fraction de la valeur de l'engrais qui incombe aux récoltes successives. 874
273. — *Détermination de la valeur d'un des éléments des engrais*..... 875

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

8537-91. — Conseil. Imprimerie E. Capiomont.

630, 1
D 366
T



This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Chem 558.92
Traite de chimie agricole.
Cabot Science
3 2044 091 932